HAL
open science

Développement d'un label énergétique destiné aux bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée (Syrie et Liban)

Mothanna Salama

To cite this version:

Mothanna Salama. Développement d'un label énergétique destiné aux bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée (Syrie et Liban). Architecture, aménagement de l'espace. Conservatoire national des arts et metiers - CNAM, 2014. Français. NNT : 2014CNAM0973 . tel-01208031

HAL Id: tel-01208031

https://theses.hal.science/tel-01208031

Submitted on 1 Oct 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

le cnam

ÉCOLE DOCTORALE ABBE GREGOIRE

Laboratoire de Génie des Procédés pour l'Energie, l'Environnement et la Santé

THÈSE présentée par :

Mothanna SALAMA

soutenue le : **10 décembre 2014**

pour obtenir le grade de : **Docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers**
Discipline/ Spécialité : Energétique

Développement d'un label énergétique appliqué aux bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée (Syrie, Liban)

THÈSE dirigée par :

M. MARVILLET Christophe	Professeur, Cnam

RAPPORTEURS :

Monsieur PUIGGALI Jean Rodolphe	Professeur, Université de Bordeaux
Monsieur BURGEL Guy	Professeur, Université Paris X- Nanterre

JURY :

Monsieur SCHIRRER Maxime	Maître de Conférence, Cnam (Co-encadrant)
Monsieur GORGIER David	Ingénieur , CMDL – MANASUL Ing

A l’esprit de mon père

A Hala, Rudy et Alexander, le sens de ma vie

Remerciements

Je tiens à exprimer ici mes sincères remerciements au professeur Christophe Marvillet pour avoir dirigé ce travail de thèse, pour ses conseils précieux, sa disponibilité, son compréhension et sa formidable richesse intellectuelle et sa chaleur humaine intarissable.

Ce travail n'aurait pas été possible sans l'admirable esprit de recherche de Maxime Scherrer mon Co-encadrant, merci Maxime de m'avoir guidé tout au long de ma thèse surtout dans le positionnement théorique et d'avoir transmettre ton savoir avec autant d'enthousiasme.

Mes remerciements d'adressent aussi à Monsieur Guy Burgel, Professeur à l'université de Paris X- Nanterre, et Monsieur Puiggali Jean-Rodolphe, Professeur à l'université de Bordeaux pour m'avoir fait l'honneur de juger ce travail en qualité de rapporteurs. Je remercie aussi Monsieur Gorgier David, ingénieur à CMDL-MANASUL Ing, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Merci à tous mes collègues et amis du Laboratoire de Génie des Procédés pour l'Énergie, l'environnement et la santé pour leur soutien, nos échanges et les moments riches que nous avons partagés : Élie, Magalie, Brice, Cyril, Issa, Hossein, et tous les autres. Ce remerciement s'adressent plus particulièrement à Élie pour son aide dans l'acquisition des données au Liban et pour son enthousiasme, et à Brice qui m'a aidé lors de la correction de la thèse.
Cette thèse n'aurait pu aboutir sans la contribution précieuse de personnes qui ont m'aidé dans les récoltes des données sur terrain, plus particulièrement mon frère Mahmoud et mon ami Alhareth, et à toutes les personnes qui ont participé aux entretiens. Merci à eux pour le temps qu'ils ont consacré à répondre à mes questions, de leur patience et de leur intérêt pour ma recherche.

Merci surtout à mes parents, ma sœur et mon frère, d'avoir toujours cru en moi. C'est aussi grâce à vous si j'en suis là aujourd'hui.

Merci à mon amour, Hala, ma force et le plus beau cadeau que la vie m'ait faite, de m'avoir toujours soutenue et aidé durant ces longues années d'étude. À tes yeux pétillants et à ton sourire…
Que la paix reviendra bientôt en Syrie…….

Résumé

Dans les pays importateurs d'énergie de la région Est-Méditerranée, comme la Syrie et le Liban, le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie (43 % de l'énergie primaire totale[1]). Une extension urbaine dynamique et une croissance démographique importante sont les caractéristiques des villes côtières de cette région, avec une absence totale d'application de règlements thermiques ou énergétiques pour les constructions. Il s'avère donc nécessaire de réduire l'impact économique et environnemental de ce secteur en promouvant des bâtiments résidentiels neufs à basse consommation d'énergie.

L'objectif de ce travail est de mettre en place une certification énergétique pour les bâtiments résidentiels neufs dans la région côtière de l'Est-Méditerranée. Pour atteindre cet objectif, nous avons réalisé une série d'enquêtes sur le terrain pour mettre en évidence les problématiques énergétiques des bâtiments résidentiels dans la ville de Tartous, et établir une base de données servant de référentiel sur les modes de construction, les systèmes énergétiques accessibles et les usages des occupants.

Le choix de la RT2012 est le résultat d'une analyse critique et comparative des six labels les plus répandus dans le monde, en vue d'une extension à la région Est-Méditerranée. L'originalité de notre travail est d'aborder la réalité du terrain en adoptant un outil de STD et en nous appuyant sur les spécificités de fonctionnement et d'usage du bâtiment et ses équipements de chauffage, de climatisation, d'eau chaude sanitaire et d'électroménager.

Les limites d'amélioration de la performance énergétique, due à l'utilisation des solutions techniques accessibles sur le site, avec un valorisation globale des points de vue énergétique, économique et de confort, nous permettront de déterminer les nouvelles valeurs des indices réglementaires caractérisant notre nouveau label énergétique RT2012-EM. Ce label énergétique, destiné aux différents acteurs du bâtiment pour la conception de bâtiments résidentiels neufs, vise à promouvoir une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie, grâce à des bâtiments à basse consommation énergétique.

Mots clés : Label énergétique, confort, besoins énergétique, simulation thermique dynamique, est-méditerranée, extension urbain, Tartous, Syrie, Liban.

[1] M. Adrah, Centre national de la recherche énergétique en Syrie, Ademe, WEC, UNDP, *Energy efficiency in Syrie, current situation and future prospects*, rapport, mars 2010.

Abstract

In the countries which importing energy in the region of the East-Mediterranean, such as Syria and Lebanon, the building sector is the largest consumer of energy (43% of total primary energy). A dynamic urban expansion and population growth are important characteristics of the coastal towns of this region, with a total lack of application of heat or energy regulations for buildings. It is therefore necessary to reduce the economic and environmental impact of this sector by promoting new residential buildings with low energy consumption.

The objective of this work is to develop an energy certification for new residential buildings in the coastal region of East Mediterranean. To achieve this goal, we conducted a series of field surveys to highlight energy issues of residential buildings in the city of Tartous, and establish a database for the repository construction methods, energy systems access and usage of the occupants.

The choice of the RT2012 is the result of a critical and comparative analysis of the six most popular labels in the world, for an extension to the East Mediterranean region. The originality of our work is to address the reality of the field by adopting a tool of a dynamic thermal simulation and relying on the specific operation and use of the building and equipment of heating, cooling, hot water and appliances.

The limits of improving energy performance, due to the use of available technical solutions on site, with a total valuation of viewpoints energy, economic and comfort, will let us to determine the new values of the regulatory indices of our new RT2012-EM energy label. The energy label for the different actors of the building to the design of new residential buildings, designed to promote a policy of rational use of energy, through buildings with low energy consumption.

Keywords : Energy label, comfort, energy requierements, dynamic thermal simulation, east mediterranean, urban expasion, Tartous, Syria, Libanon.

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des équations

Liste des cartes

Liste des annexes

Introduction

L'humanité a un défi majeur à relever, celui du développement durable. Ce défi est devenu, depuis plusieurs décennies, le leitmotiv des sociétés modernes et civilisées. Il a pour enjeu la protection et la sauvegarde de notre environnement pour que celui-ci ne soit pas sacrifié au nom du progrès humain et du bien-être des hommes.

L'histoire enseigne que l'humanité a déjà connu deux révolutions énergétiques majeures : la première était basée sur la vapeur et le charbon ; la seconde sur la chimie et le pétrole. Aujourd'hui, nos sociétés connaissent une nouvelle étape de basculement vers une troisième révolution énergétique : celle de l'énergie renouvelable et décarbonée.

On peut constater que les deux premières révolutions énergétiques ont eu des impacts très forts sur l'urbanisation et le peuplement urbain à travers le monde. Par exemple, si l'on prend la question de la localisation des entreprises qui s'intéressaient à l'extraction du charbon, la plupart avaient pris l'habitude d'implanter leurs unités de production près des mines. L'habitat des mineurs se trouvait à proximité des sites industriels en raison de la faible mobilité des hommes de l'époque. Cette association entre localisation des matières premières, des lieux de production et de l'habitat a contribué au développement de formes urbaines spécifiques, comme les corons dans le nord de la France. Ce système productif a eu une conséquence importante sur le développement de pollutions, que ce soit à travers l'émission de gaz toxiques ou de gaz à effet de serre.

Dans le cas du pétrole et de ses dérivés, tels que la chimie, il y a eu émergence de tout un système économique qui s'est intégré à la ville, avec une série d'applications dans des domaines très variés : depuis les transports des marchandises dans les villes jusqu'à la circulation des hommes et, bien évidemment, l'intégration de nouvelles énergies dans la vi(ll)e de tous les jours. Toutes ces évolutions, entraînées par le développement de l'énergie, ont structuré une nouvelle organisation des villes d'aujourd'hui.

En extrapolant les impacts des deux premières révolutions énergétiques sur la ville, nous pouvons considérer que la troisième révolution énergétique, basée sur l'énergie renouvelable et l'efficacité énergétique, induira des transformations sur les modes d'habitat des hommes. La question de l'énergie n'est pas seulement une donnée d'énergie produite ou consommée, c'est aussi une volonté de prévoir et d'anticiper les avenirs des villes : Comment celles-ci vont-elles se construire ? Comment les modes de vie vont-ils s'organiser ?

Les grands ensembles et les espaces périurbains, qui font partie aujourd'hui du paysage des grandes villes industrialisées, sont des conséquences urbaines de la deuxième révolution énergétique. De ce constat, peut-on en déduire ce que seront les formes urbaines à venir face à l'intégration des nouvelles contraintes et des solutions techniques issues de la révolution énergétique actuelle ?

La consommation d'énergie est plus importante en milieu urbain qu'en milieu rural en raison de la densité de population : 85 % de la population française vit en ville. Ainsi, le mode de vie urbain conjugue à la fois un système de réseaux urbains (éclairages, transports, etc.) et des bâtiments. Ces derniers consomment à eux seuls près de 40 % de la consommation globale. La révolution énergétique est une des causes de la révolution urbaine, dont les origines remontent au début du XVIIIe siècle. À partir de cette époque, la ville a connu une explosion démographique due à un exode rural massif. Représentant 2 % de la population mondiale en 1800, la population urbaine est majoritaire depuis 2011, selon les chiffres officiels des Nations Unies. Les conséquences de cette urbanisation galopante se traduisent par une consommation exponentielle de l'énergie. À titre d'illustration, les villes comptant plus d'un million d'habitants, au début du XXe, étaient moins d'une dizaine. Aujourd'hui, près de 500 villes sont dans ce cas, et plusieurs dépassent même les 20 millions d'habitants.

Dans les pays développés, pour limiter la consommation énergétique des bâtiments, des procédures de certification énergétique ont été mises en œuvre depuis plusieurs années afin de promouvoir des constructions économes en énergie. Cela passe par des choix d'ingénierie de construction, de technologies industrielles, architecturaux et d'urbanisation.

Dans les pays en développement, la consommation élevée d'énergie nécessite d'intégrer la notion de maîtrise de l'énergie dans les modes de construction, ceci d'autant plus qu'une forte croissance démographique continue d'alimenter les villes. Dans le contexte syrien, et plus largement du moyen orient avec la guerre, la reconstruction massive du pays devra intégrer cette nouvelle pensée en matière « d'art de bâtir la ville ».

À l'heure actuelle, le secteur des bâtiments résidentiels en Syrie n'est soumis à aucune obligation en terme de confort thermique et de consommation énergétique. Depuis quarante ans, la politique de subvention de l'État vis-à-vis des ressources énergétiques (combustibles, électricité, etc.) a empêché tout développement d'une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie.

L'objectif de notre travail est d'étudier la pertinence de la mise en place d'une certification énergétique des bâtiments en Syrie, plus précisément dans la zone côtière, qui rassemble plusieurs villes semblables par leurs architecture et mode de vie. Le choix de la ville de Tartous, comme ville typique de la région Est de la Méditerranée, a été fait, car nous pouvions facilement récolter les informations nécessaires à ce travail de recherche par le biais de réseaux personnels (acteurs privés, acteurs publics) accessibles aux doctorants.

Afin d'établir un état de l'art complet sur la situation énergétique des bâtis dans cette ville, nous présentons l'historique de son extension urbaine, qui montre l'importance des bâtiments résidentiels associés à l'évolution démographique de la région. Cette étude urbanistique est suivie d'enquêtes. Une première enquête a visé les ménages, pour évaluer l'état de confort et le niveau des dépenses énergétiques des locaux résidentiels. Une deuxième enquête, destinée aux professionnels et aux acteurs principaux de l'immobilier, a permis d'évaluer les savoirs de ceux-ci en terme de technologies innovantes énergétiques en Europe.

Ces enquêtes ont montré la nécessité qu'il y avait à réaliser un diagnostic énergétique sur un bâtiment de référence, de conception et d'usage analogues à ceux observés dans les tissus résidentiels actuels. Une expérimentation a donc été mise en place avec différents capteurs de mesures (confort, consommation énergétique). En parallèle, une modélisation de ce bâtiment de référence a été effectuée, et les résultats ont été comparés aux mesures expérimentales.

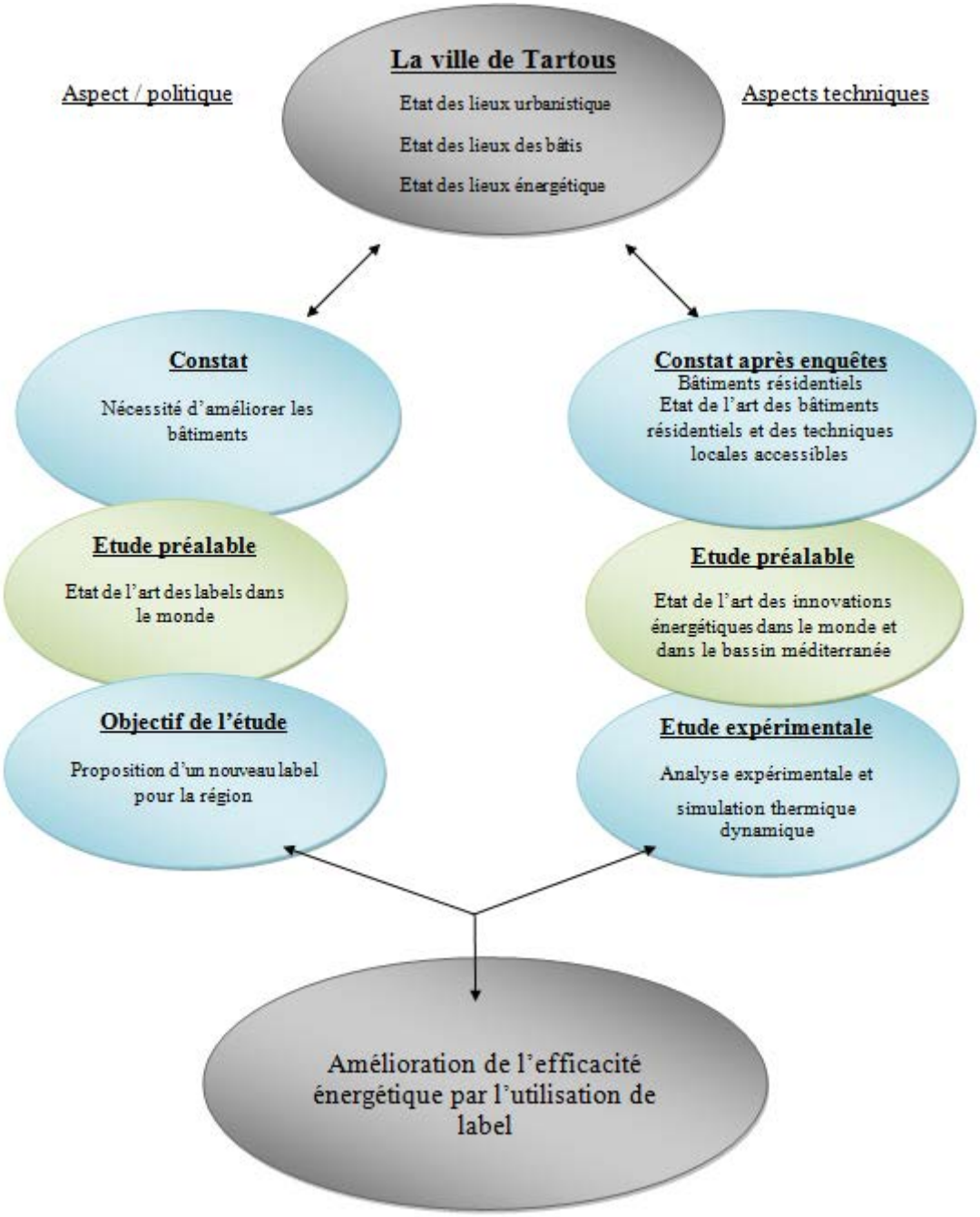
L'importance de la mise en place d'une certification énergétique dans le contexte est-méditerranéen est évident : c'est le moyen de motiver les professionnels locaux à adopter des conceptions du bâti efficaces énergétiquement et d'intégrer des équipements techniques performants et innovants (comparables à ceux utilisés en Europe).

Toutefois, cette certification énergétique, bien qu'issue de propositions existantes venant d'Europe (Passiv' hausse, RT2012, etc.) et des États-Unis (LEED), doit être adaptée au contexte régional visé, et prendre en compte les habitudes professionnelles, les conditions climatiques, les modes de vie, etc. La proposition d'une nouvelle certification adaptée à cet environnement est l'objectif de ce travail.

L'adoption d'une certification énergétique suppose une étude approfondie du comportement énergétique d'un bâtiment de référence. Cette démarche doit permettre de valider les hypothèses de calcul des simulations du bâtiment.

Cet outil de simulation doit permettre de réaliser une étude de sensibilité sur les performances énergétiques des bâtiments et d'identifier les critères pertinents à intégrer dans une proposition de certification énergétique.

Figure 0.1 : Organigramme de notre démarche de travail



La trame de cette recherche est structurée en six chapitres. Le schéma ci-dessus montre l'organigramme de la présente thèse. Nous allons l'expliquer chapitre par chapitre.

Le premier chapitre mettra en perspective différentes théories urbaines face aux enjeux du développement durable, et apportera des éclairages sur les dispositifs internationaux et nationaux. Dans une deuxième séquence, la focale sera resserrée sur les enjeux énergétiques en Syrie.

Le deuxième chapitre contextualisera la problématique sur une ville syrienne qui est une illustration de villes similaires dans la région Est de la Méditerranée. En partant de considérations géographiques et urbanistiques, nous chercherons à illustrer les enjeux en matière de construction face aux situations énergétiques.

Le troisième chapitre sera consacré à la mise en place d'une démarche empirique basée sur des enquêtes à destination des ménages et des professionnels. Ce chapitre donnera également des éléments quant à nos sources d'information, notre démarche de collecte et de traitement des données, ainsi qu'à la phase d'analyse des données.

Dans le quatrième chapitre, nous présenterons les labels énergétiques les plus répandus dans le monde. En partant de leur description technique, nous comparerons les critères énergétiques en vue d'une hiérarchisation. Cette comparaison servira de base à une évaluation afin d'adopter des critères et des exigences cohérents avec notre site, dans le but de réaliser un label énergétique spécifique à notre région.

Dans un cinquième chapitre, nous présenterons notre démarche de simulation et d'expérimentation. Nous commencerons par justifier le choix du bâtiment de référence, qui sera retenu pour la réalisation d'une série de mesures et d'acquisitions des données. Les résultats de ce travail expérimental seront comparés avec les résultats de la simulation thermique dynamique réalisée par un logiciel. Le différentiel entre les résultats expérimentaux et ceux issus de la simulation donnera un cadre d'analyse permettant de conforter notre démarche.

Enfin, dans le sixième chapitre, nous identifierons les critères de la procédure énergétique retenu en vérifiant que la structure du label peut s'appliquer aux bâtiments de la ville de Tartous. Nous chercherons les solutions techniques disponibles sur le marché local, permettant de rendre le bâtiment de référence le plus efficace possible en termes énergétiques et thermiques. La mise en place des valeurs réglementaires des indices adaptées, spécifiques de notre région, et l'évaluation logique des solutions d'améliorations en termes techniques, économiques et sociaux seront la préconisation de notre nouvelle procédure énergétique.

Chapitre 1.
Vision macroscopique, urbanisation et développement durable

Introduction

> *« Le développement durable éclaire les limites à la fois sociales et environnementales de la coexistence entre l'être humain au sein du monde vivant et le monde physique » (Brundtland, 1989).*

Le développement durable connaît aujourd'hui un immense succès médiatique à l'échelle du globe. Objet d'une stratégie internationale de la part d'États et de nombreuses entreprises, il est présent dans les stratégies des grands groupes industriels internationaux. Côté public, le développement durable est un critère qui intervient à la fois dans le champ de la planification nationale et locale, comme un projet d'aménagement et de développement durable inséré dans le plan local d'urbanisme, ou comme un critère pouvant être retenu dans le cadre d'un marché public. Côté privé, ce concept peut apparaître comme une façon d'améliorer son image, voire une façon d'occulter les vrais problèmes sociaux ou environnementaux. En effet, bien souvent, ce concept est plus un objet de communication qu'un objet réel.

Au début des années cinquante, on parlait très peu de développement durable. Mais au fil du temps, ce concept a acquis de l'importance et a fait son entrée dans le dictionnaire des idées. Devant l'ampleur des problèmes liés au changement climatique, la notion s'est imposée à tout le monde. Désormais, elle est au centre des discours des instances et des acteurs impliqués dans l'économie, l'urbain, la construction, l'environnement et le développement en général. En réalité, contrairement à ce que certains pensent, l'intérêt pour les notions de durabilité et de développement durable n'est pas récente. L'apparition de cet intérêt date de plusieurs décennies. Au lieu de s'interroger sur son utilité, la question qui mériterait d'être étudiée serait de savoir comment le sens et le contenu du développement durable ont évolué. Bien évidemment, parmi toutes les notions qui entrent dans la logique du développement durable, il serait utile de commencer par celle d'urbanisme.

1. Doctrines et théories urbaines aux fondements des organisations spatiales

L'urbanisme est l'art d´organiser et de bâtir une ville. De ce mot découle l'expression « urbanité », pour qualifier tout ce qui concerne la ville : les pratiques, les activités, les mentalités, les habitudes, les hommes, l'environnement, etc. Cette expression comprend ainsi une dimension sociale, économique et écologique. Elle est sociale par l'interaction des habitants qui la composent. Elle est économique par la division du travail qu'elle permet, la productivité qui en découle et les services générés qui y sont associés. Elle est écologique du fait de l'accumulation des ressources énergétiques et matérielles qu'elle engendre dans un espace limité (l'eau, la biomasse, les matériaux de construction, les différents systèmes de transport et de stockage d'énergie). Son cadre spatial et son bâti sont caractérisés par la concentration de nombreux édifices, d'infrastructures techniques, d'établissements regroupés sur un territoire donné.

En France, selon l'Institut national de la statistique et des études économiques (Insee), la définition de la ville correspond à un espace dont la taille démographique est supérieure ou égale à 2 000 habitants agglomérés autour d'un chef-lieu et sans rupture du bâti au-delà de 200 m entre les maisons[2].

[2] P. Merlin, F. Choay, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*, Paris, P.U.F, (8e éd.) 2009, 939 p.

En Europe, le développement et la croissance des villes proviennent en particulier de la révolution industrielle, à partir du XVIIIe siècle. C'est pourquoi les activités industrielles et commerciales sont considérées comme les critères principaux pour distinguer la ville des campagnes.

En Afrique subsaharienne et au Moyen-Orient, les critères changent parfois d'un pays à l'autre. Cependant, on remarque, dans la majorité de ces pays, que les critères administratifs et politiques sont prioritaires pour définir une ville. Cela revient à souligner que ce sont les autorités étatiques qui ont l'habitude de définir la ville et d'en décider la destinée. Il en résulte qu'il existe des cas où des villes ne méritent pas l'appellation de ville, eu égard au manque d'équipements et d'infrastructures ainsi qu'à l'inexistence de services urbains pour assurer leur fonctionnement. C'est d'ailleurs sur ce point qu'il convient de différencier la ville et l'urbain. Certaines villes, malgré leurs équipements et infrastructures, ne fonctionnent pas correctement à cause des mauvaises conditions de vie et de bien-être. Face à cela, à partir de la fin du XVIIIe siècle, la notion d'urbaphobie moderne est apparue, provoquée par deux grands phénomènes : les révolutions politique, industrielle, démographique, philosophique, etc., et la naissance de l'individualisme. Les premiers économistes, les physiocrates[3], considéraient les populations urbaines comme « stériles ». À ce propos, ils disaient que :

> *« seule la terre produisait de vraies richesses ».*

Cette idée condamnait la ville. L'urbaphobie[4] a été provoquée par la naissance du capitalisme et des grandes villes. Le débat entre les urbaphobes et les partisans des grandes villes et des capitalistes continue de nos jours.

B. Marchand (2009), reprenant les propos d'Élisabeth Pfeil, indiquait :

> *« les grandes villes, depuis le XVIIe siècle, ont été un objet d'inquiétude, leur croissance illimitée imprévisible éveillait la méfiance des rois et des gouvernements[5] ».*

Face aux idées des grandes villes, au cours du siècle des Lumières, la réaction de Jean-Jacques Rousseau contre la concentration urbaine a été claire, et il a écrit :

> *« les villes sont le tombeau de la race humaine ».*

Rousseau lança contre les grandes villes son idéologie du « retour à la nature », comme le désiraient les physiocrates, qui ont toujours souhaité réaliser un ordre naturel car, pour eux, ceci était une exigence pour le futur. Cette idéologie du « retour à la nature » est, à notre avis, l'une des possibilités pour le monde de demain d'être construit en respectant l'environnement naturel.

Dans le même ordre d'idée que Rousseau, Goethe, en Allemagne, ont affirmé :

> *« Les ruraux forment comme un dépôt qui sert à renouveler et à rafraîchir les forces déclinantes de l'humanité ».*

Un peu plus tard, aux États-Unis, le président Jefferson[6] et les républicains, en voulant conserver un monde agricole, ont exprimé sans regret le vœu de laisser les industries et les

---

[3] F. Quesnay, *Tableau économique*, Versailles, décembre 1758.

[4] D. Frick, « Éléments urbaphobes dans l'idéologie urbaine du Mouvement moderne », Université de Berlin, Presse universitaire de Berlin, tradiction de l'alleman par Gilles Duhem, 8 mars 2007.

[5] B. Marchand, *Les Ennemis de Paris*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2009, 397 p.

grandes villes à la vieille Europe. En Russie, les marxistes avaient eu la vision d'une société sans classes ; une société où l'opposition entre ville et campagne disparaîtrait, dans la mesure où ils considéraient que la lutte des classes se situait en milieu urbain, espace de vie des ouvriers. Les slavophiles résistaient aux rationalismes, à l'individualisme, aux grandes villes ainsi qu'à leurs constructions. Marx a ainsi écrit que la bourgeoisie avait multiplié les grandes villes et arraché des millions d'hommes à l'idiotie de la vie rurale[7]. Il a en outre parlé de l'environnement et dénoncé les mauvaises exploitations des ressources naturelles dans sa lutte contre les théories capitalistes ; sans oublier ses fameuses critiques, à travers lesquelles il a mis l'accent sur les contradictions sociales engendrées par le mode de production capitaliste. Pour lui :

> *« chaque progrès de l'agriculture capitaliste, est un progrès non seulement dans l'art d'exploiter le travailleur, mais encore dans l'art de dépouiller le sol ; chaque progrès dans l'art d'accroître sa fertilité pour un temps, un progrès dans la ruine de ses sources durables de fertilité. Plus un pays, les États-Unis du nord de l'Amérique, par exemple, se développe sur la base de la grande industrie, plus ce processus de destruction s'accomplit rapidement ».*

Ces grands penseurs du siècle des Lumières et des périodes ultérieures ont lutté contre la ville, pour la pérennité de la race humaine. Ces hommes voyaient, dans les villes industrielles, un avenir sombre pour l'humanité et un mode de vie étrange. La nature et la forêt, dans leurs pensées, étaient la source de la durabilité pour l'homme, la source de l'économie réelle et non virtuelle. Mais qui les a crus et qui a pris leurs paroles au sérieux ? Apparemment, les politiques n'ont pas prêté beaucoup d'attention aux avertissements. Certains d'entre eux ont continué de multiplier les unités de production industrielle, sans même tenir compte des appels à la protection de l'environnement. Bernard Marchand, en 2007, a publié un article sous le titre « L'Urbaphobie en France depuis 200 ans ». Il y considère que même la Révolution française fut principalement urbaine, et que les campagnes ne jouèrent en général qu'un rôle d'opposants attachés à l'Église et au roi.

Les grandes villes d'Europe, pendant le XIXe siècle, ont été le moteur de la production industrielle et du développement économique. Elles ont aussi joué un rôle social qui s'est illustré par la division sociale du travail, entre une couche sociale riche et puissante et une autre, « prolétaire », misérable victime de la révolution industrielle. Cette ségrégation sociale a été à l'origine de révolutions en Europe en 1848, comme en France, en Angleterre, en Autriche-Hongrie, etc., lors de ce qui fut qualifié de « printemps des peuples ». En Allemagne, les villes connurent une explosion démographique du fait d'un exode rural massif, alors que le progrès des industries était plus lent. On était alors au début de l'industrialisation, et le tissu industriel n'était pas encore suffisamment dense pour fournir du travail à toutes les populations urbaines issues de l'exode rural. Lorsque le pays s'est lancé dans l'industrialisation afin de sauver la population de la faim et du paupérisme, les misères des travailleurs d'industrie, avec leur cortège de problèmes sociaux, sont apparues dans les grandes villes et dans les nouvelles sociétés industrielles allemandes. Les campagnes se sont dépeuplées, perdant leur main-d'œuvre au profit des villes. En rapportant une citation faite par

---

[6] Thomas Jefferson (1743-1826), troisième Président des États-Unis, philosophe, agronome, inventeur, architecte.

[7] Klaus Bergmann, *Agrarromantik und Grossstadfeindschaft*, Anton Hain Vlg, Meisebheim am Glan, Marburger Abhandlungen zur politischen Wissenschaft, Band 20, 405 S. 1970, traduction et résumé par Bernard Marchand, 25 décembre 2006.

l'organisation allemande Comité sur le bien-être dans le pays[8], Klaus Bergmann a dit, dans sa thèse, en 1969 :

> *« les dangers monstrueux où vont nous plonger l'abandon du peuplement rural et la concentration dans les grandes villes d'un prolétariat qui ne possède rien n'ont pas besoin d'être développés. Malheur à nous si nous continuons à observer cette évolution les bras croisés sans chercher à opposer comme contrepoids aux grandes villes une population rurale nombreuse et saine ».*

Les études scientifiques sur les migrations de population à cette époque ont conclu que dans les villes, les décès étaient aussi nombreux que les naissances, ce qui forçait les villes à recourir à la l'immigration. De ce point de vue, les grandes villes étaient à l'origine de problèmes majeurs : le premier était la misère des conditions de vie des habitants ; le second, l'exode des ruraux vers la ville. Cela poussait ces derniers à abandonner la campagne et à délaisser la culture des terres pour les emplois industriels. Par ce phénomène, on est progressivement passé d'une économie agraire à une économie industrielle et à la prééminence de la ville sur les campagnes.

À la fin du XIXe siècle, le monde a vécu une crise économique qualifée de « première crise de mondialisation ». Celle-ci est née du développement des relations commerciales entre l'Europe et le continent américain. En effet, suite aux progrès techniques, tels que les découvertes techniques liées aux bateaux à vapeur, qui ont permis d'entreprendre les voyages maritimes et les échanges commerciaux entre l'Europe et l'Amérique, les agriculteurs européens ont été confrontés à des difficultés de commercialisation des produits locaux, du fait de la concurrence des produits d'importation américains. Pour lutter contre cette crise, des mesures furent prises au plan national, comme en France, avec l'adoption, en 1892, des lois Méline. Cette législation avait pour objectif de protéger l'agriculture nationale et les agriculteurs face aux effets néfastes de la mondialisation des échanges avec l'extérieur. La loi prévoyait de faire bénéficier le monde paysan de subventions de l'État. Pour cela, le législateur avait décidé que les grandes villes, à travers les taxes, devaient supporter les subventions en faveur des campagnes. Cette législation apparaît comme une application ancienne, en faveur du développement local, du concept de développement durable (DD) pour lutter contre les effets néfastes de la croissance économique. En effet, l'un des objectifs était un transfert financier des villes vers les campagnes pour maintenir les emplois en milieu rural. Dans la mesure où l'idée nous semble aller dans le sens d'une préservation des diversités de cultures agroalimentaires, nous considérerons que, de manière anachronique, ce dispositif peut être assimilé à une mesure environnementale, au-delà de l'aspect protectionniste du marché intérieur. Cette législation est toujours en vigueur en France et dans bien d'autres pays industrialisés.

Les conditions de vie désastreuses et la croissance rapide de la population dans les grandes villes industrielles du XIXe siècle et du début XXe siècle ont suscité la nécessité de chercher ou d'imaginer une autre vision de la ville. Ainsi, les architectes et les urbanistes se sont mis à l'œuvre pour contribuer à l'émergence de nouvelles manières de concevoir la « ville de demain », laquelle se caractérise par l'importance d'y inscrire des espaces publics. Ceci a engendré divers courants et écoles de pensées, tels que les courants hygiéniste, fonctionnaliste, utopiste, etc.

L'idéologie du mouvement moderne se manifeste comme une théorie d'urbanisme dominante. Les congrès internationaux d'architecture moderne (CIAM) sont nés de la volonté

---

[8] « Ausschuss für Wohlfahrtspflege auf dem Lande », *Das Land*, Jg IV, 1895-1896, 369 p.

de promouvoir une architecture et un urbanisme fonctionnels. La première conférence s'est tenue en 1928 à La Sarraz, en Suisse. Le Corbusier y a joué un rôle important. À l'occasion de la quatrième conférence de CIAM en 1933, il a formulé pour la première fois les fondements de l'architecture et de l'urbanisme modernes. En 1943, il a publié la *Charte d'Athènes*, que nombre de ses collègues considèrent comme le texte fondateur de l'architecture et de l'urbanisme modernes[9]. Ce dernier énonce les moyens d'améliorer les conditions d'existence dans la ville moderne. L'espace urbain doit, selon lui, permettre l'épanouissement harmonieux de quatre grandes fonctions humaines : habiter, travailler, se divertir et circuler. Dans le même ordre d'idées, cet auteur a écrit un autre livre, intitulé le *Manifeste concret*, dans lequel il expose les théories et les pratiques relatives à l'art de faire la ville. Cette seconde contribution était destinée à la construction pour l'Exposition internationale de 1937. Depuis les années vingt, les architectes et urbanistes célèbres ont adopté ce mouvement et s'efforcent de travailler dans cet esprit pour faire la ville. De nos jours, le mouvement moderne, après avoir critiqué les villes du XIXe et du début du XXe siècle en revendiquant vouloir créer de nouvelles villes conformes aux aspirations et aux besoins des sociétés actuelles, n'a pas su faire émerger une organisation spatiale qui soit génératrice de vie urbaine. Ce mouvement a livré une doctrine d'urbanisme dominante dans le monde occidental et a influencé de manière décisive l'urbanisme opérationnel ainsi que les différents projets de ville jusqu'aux années quatre-vingt, avec une conception par *zoning* de la ville : zone d'habitations, zone d'emploi, zone industrielle. De notre point de vue, la séparation des fonctions urbaines avait pour vocation de créer des espaces verts importants autour des unités d'habitation. En cela, l'urbanisme fonctionnaliste avait des vertus écologiques. Néanmoins, la prise en compte de cette doctrine par les promoteurs, qui ont conçu de manière industrielle des bâtiments en réalisant des économies importantes sur les matériaux utilisés, a eu des conséquences négatives sur l'environnement : entre les enveloppes thermiques négatives des bâtiments et la nécessité de se déplacer toujours plus, le résultat de l'urbanisme fonctionnaliste est au final négatif, d'un point de vue environnemental.

Les partisans du mouvement moderne ne souhaitaient pas complètement détruire la ville, mais plutôt l'améliorer. Ils critiquaient la ville de leur époque, comme en témoignent les propos suivants, tenus par Le Corbusier :

> *« Le chaos est entré dans les villes. L'emploi de la machine a bouleversé les conditions du travail. Il a rompu un équilibre millénaire, portant un coup fatal à l'artisanat, vidant les campagnes, engorgeant les villes et faisant litière d'harmonies séculaires, perturbant les rapports naturels qui existaient entre les foyers et les lieux de travail. Un rythme forcené joint à une précarité décourageante désorganise les conditions de la vie, s'opposant à l'accord des besoins fondamentaux. Les logis abritent mal les familles, corrompent leur vie intime, et la méconnaissance des nécessités vitales, maladie, déchéance, révolte. Le mal est universel, exprimé, dans les villes, par un entassement qui les accule au désordre et dans les campagnes, par l'abandon de nombreuses terres […]. Les villes, telles qu'elles existent aujourd'hui, sont construites dans des conditions contraires au bien public et privé […]. L'ère de la machine, en modifiant brutalement certaines conditions centenaires, les a conduites au chaos » (Le Corbusier, 1957).*

[9] Le Corbusier publia, en 1943, *La Charte d'Athènes*, qui est une reprise des conclusions du CIAM IV de 1933. Cette publication fut considérée comme le texte fondateur de l'architecture et de l'urbanisme modernes.

Les modifications proposées par les membres du CIAM conduisirent à opérer des interventions dans le tissu urbain existant de la ville, à remodeler celui-ci en procédant par des démolitions partielles ou générales des quartiers et sous-quartiers non conformes ou insalubres. En 1957, Le Corbusier recommanda :

> *« Les îlots insalubres* [dans les villes] *doivent être démolis et remplacés par des surfaces vertes. »*
>
> *« Les quatre fonctions-clefs de l'urbanisme (habiter, travailler, se recréer, circuler) réclament pour se manifester dans toute leur plénitude, et apporter ordre et classification dans les conditions habituelles de vie. L'urbanisme, en tenant compte de cette nécessité, transformera la figure des villes, brisera avec la contrainte écrasante d'usages qui ont perdu leur raison d'être et ouvrira aux créateurs un champ d'action inépuisable. » (Le Corbusier, 1957)*

Dans les années quatre-vingt, en opposition à la théorie de l'urbanisme fonctionnaliste, plusieurs urbanistes et architectes commencèrent à parler de ville mixte ou de « mixité fonctionnelle ». Ce concept insiste sur le fait qu'il est préférable de regrouper sur un même site les activités économiques, le logement et les équipements publics. Rompant ainsi avec le « zoning » des décennies précédentes (de grandes zones d'activités, de grandes zones d'habitat, sans interpénétration des deux entités), cette mixité fonctionnelle permettait de réduire les déplacements motorisés intra-urbains (le logement pouvait de nouveau être à proximité des commerces, du lieu de travail…) et apportait de la vie au quartier. Cela correspond au nouveau concept dit « d'écoquartier », qui établit le lien entre le quartier et le respect des principes écologiques ainsi que du développement durable.

C'est la conséquence d'une philosophie visant à concilier le développement durable avec l'urbanisme. Pour Pierre Lefèvre et Michel Sabard (2009), l'écoquartier est :

> *« la rencontre entre l'art de construire des bâtiments et l'art de gérer une ville durable ».*

Cela vise à idéaliser toutes les améliorations qu'il est possible d'imaginer pour réaliser les conditions de bien-être en ville. Les projets d'écoquartiers mettent en avant le désir et le souci de protéger le cadre de vie et l'environnement qui l'entoure.

2. Le développement durable au rendez-vous de la fabrique urbaine

> *« Le développement durable est un développement social, économique et politique, qui répond aux besoins présents, sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leur propre développement ».*

C'est la définition du développement durable adoptée par la commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU, dans un rapport intitulé *Notre avenir à tous*, dit « Rapport Brundtland », en 1987.

2.1. Des idées fondatrices pour une définition

Si, en 1987, la définition officielle du développement durable que donne l'ONU est validée, les idées fondatrices sont apparues bien avant. En 1972, lors d'une conférence de l'ONU à Stockholm, l'idée de développement durable est apparue dans un rapport intitulé *Les Limites à la croissance*. Ce rapport explique l'état du monde en comparant la croissance démographique et la croissance économique. Dans cette perspective, l'avenir agricole,

énergétique et des conditions de vie de l'humanité sont compromis. Dans ce rapport, trois piliers sont la base du développement durable :

1- l'équilibre à l'échelle mondiale ;

2- l'utilisation judicieuse des ressources ;

3- la mise en relation des notions de l'environnement et du développement.

En 1992, le deuxième Sommet de la Terre, organisé à Rio de Janeiro, au Brésil, accueille 173 chefs d'État. Ces derniers adoptent la convention de Rio et prennent l'engagement de mettre en place un agenda 21 (programme d'actions pour le XXIe siècle orienté vers le développement durable) dans leur pays respectif. L'agenda 21 est un document d'orientation qui consiste à lutter contre la pauvreté et à produire des habitations et des services durables, afin de protéger l'environnement et les ressources naturelles.

Pour notre part, nous considérons que le développement durable est une méthodologie à appliquer à tout niveau ; c'est un modèle de pensée établissant un référentiel dont découleront une application et des pratiques professionnelles. Ainsi, cette méthode implique des interactions entre le social, l'économie et l'environnement. Ces interactions sont illustrées par la figure 1.1, dans laquelle nous pouvons voir que la notion de durabilité et au cœur des intersections des différents piliers.

Figure 1.1 : Les piliers d'une stratégie de développement durable[10]

Par ailleurs, comme l'illustre la figure 2, la dimension « vivable » est à la fois environnementale et sociale, ce que symbolise l'écoquartier. Ce qui est « équitable » concerne aussi bien le système productif que l'aspect social, comme l'évoque la notion connue de commerce équitable. Enfin, la notion de « viable » recouvre les champs à la fois économique et environnemental, comme l'illustrent les problématiques de la production bio.

2.2. De la théorie à la pratique

Au niveau international, plusieurs conférences ont abordé principalement la question de développement durable. En 2012, le Sommet de la Terre de Rio+20 a été la piste d'une évaluation des vingt années écoulées depuis le premier sommet. Nous développerons cet aspect dans la prochaine section. Au national, des politiques publiques ont été mises en place, comme le montre la législation française avec l'organisation du Grenelle de l'environnement, sur lequel nous reviendrons dans le chapitre 4.

La pratique du développement durable questionne les échelles d'intervention. Comme l'appréhension de la ville, il peut s'analyser à l'échelle d'un bâtiment, puis d'une rue, un quartier et enfin la ville dans sa globalité. En relation avec la notion d'échelle, la

[10] C. Charlot-Valdieu, P. Outrequin, *Concevoir et évaluer un projet d'écoquartier*, Paris, Le Moniteur, 2012, 472 p.

responsabilité entre les acteurs est essentielle. En guise d'exemple, disons que l'aménageur, en lien avec le pouvoir politique, à travers les documents de planification locale, établit un cahier des charges afin de garantir des lots de construction et un mode de circulation des transports économe en énergie. L'architecte ou l'ingénieur adoptent des matériaux et appliquent des techniques de construction écologiques dans le respect de règles strictes afin d'obtenir un bâtiment économe en dépenses énergétiques. Cette nouvelle organisation de la ville incite à une réorganisation de la vie urbaine pour l'habitant. Par exemple, l'utilisation de vélos pour le transport est facilitée par des voies cyclables sécurisées et continues.

3. Dispositions internationales et nationales face au défi environnemental et énergétique

Aujourd'hui, la plupart des grandes agglomérations du monde et des villes moyennes participent aux conférences mondiales consacrées au développement durable. Dans cette section, nous allons présenter les engagements des États sur cette thématique.

Il est utile de rappeler historiquement comment sont apparus les enjeux de développement durable et de l'énergie au niveau mondial. Le développement durable et l'énergie renouvelable sont des préoccupations relativement récentes à l'échelle de l'Histoire. Nous limiterons notre propos aux dates clés depuis le dernier tiers du XXe siècle.

En 1972, le Club de Rome a publié un rapport intitulé *Halte à la croissance*. Ce rapport était une première prise de conscience de l'excès de la démographie, et tirait la sonnette d'alarme sur le fait que la population ne cessait de croître de manière vertigineuse. La même année, à Stockholm, eut lieu le premier Sommet de la Terre, qui donna naissance au Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), première tentative pour un développement plus raisonné.

Quelques années plus tard, en 1987, le protocole de Montréal constitua le premier événement marquant la volonté de la communauté internationale à s'engager concrètement dans la protection de la planète. Dans ce protocole, paraphé par 24 pays et par l'UE, les signataires s'engagent à réduire de 50 % les CFC (chlorofluorocarbones), gaz responsables du trou dans la couche d'ozone. Signé depuis par quasiment l'ensemble des pays, le protocole concerne désormais de nombreuses substances chimiques.

C'est la même année que le rapport Brundtland parut en insistant sur la notion de développement durable en relation avec le futur. Du nom de l'ancienne Premier ministre norvégien Gro Harlem Brundtland, ce rapport contient la première définition du développement durable :

> *« un mode de développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ».*

Durant plusieurs années, ce rapport servit de trame de travail pour la préparation des grandes conférences à venir sur l'environnement, notamment celle du Sommet de Rio.

Cinq ans plus tard, en 1992, le Sommet de Rio, conférence qui réunit 120 chefs d'État ou de gouvernement, adopta un certain nombre de principes. Parmi eux, le plus célèbre est la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques, qui appelle à stabiliser les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère afin d'empêcher toute perturbation humaine sur le système climatique.

Les textes fondateurs du développement durable issus du Sommet de la Terre sont la déclaration de Rio, l'Agenda 21, la déclaration de principe sur la forêt et les conventions sur la biodiversité, la désertification et le changement climatique.

Ces déclarations définissent un premier objectif : ramener le niveau des émissions de l'an 2000 à celui de 1990. C'est la première fois que la communauté internationale prend l'engagement de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

C'est dans cette optique qu'il est question de mettre en place l'Agenda 21. Cette stratégie globale pour le développement durable est en fait un plan d'actions aussi bien global, national que local. Il aborde les problèmes majeurs et notamment la question de développement et d'environnement.

L'Agenda 21 instaure un nouveau partenariat mondial pour le développement durable et insiste sur la coopération internationale, qui doit accélérer la mise en place d'un développement durable dans les pays en développement.

Malheureusement peu contraignants, les objectifs de la convention de Rio ne seront pas tenus. Toutefois, des engagements ont été actés, et aujourd'hui, dans les différents Sommets de la Terre, on considère l'année 1990 comme une référence.

Six ans après le sommet de Rio, en 1998, le protocole de Kyoto s'est voulu plus contraignant que la convention de Rio. Il définit comme objectif la réduction de 5,2 % des émissions de CO_2 pour 2012, en référence aux émissions de 1990. Certains pays, dont les États-Unis, refusent toujours de l'appliquer. Il institua par ailleurs un échange de droits d'émissions dans les pays développés et reconnut aux pays du Sud un mode de développement particulier.

En outre, alors que la convention sur le climat encourageait les pays de l'annexe 1 de la convention à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, le protocole de Kyoto les obligea à le faire.

La conférence de Johannesburg de 2002 reprit à son compte les grands thèmes de Rio. Ce troisième Sommet de la Terre visait à inciter les États à réitérer leur engagement en faveur du développement durable et à favoriser le renforcement entre le Nord et le Sud. Plusieurs thèmes prioritaires émergèrent : l'eau, l'énergie, la productivité agricole, la biodiversité… Lors de ce sommet, le Président français, Jacques Chirac, déclare :

> *« Notre maison brûle et nous regardons ailleurs ».*

Le rapport, publié en février 2007 par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)[11], conclut que l'essentiel de la hausse de la température moyenne du globe est « très vraisemblablement » dû à l'augmentation des gaz à effet de serre émis par l'homme. La prise de conscience est désormais planétaire. Le film d'Al Gore *Une vérité qui dérange* est un succès mondial et vaut à son auteur, et aux experts du GIEC, le prix Nobel de la paix.

En 2011, le Sommet de la Terre de Durban, sur fond de désaccord entre les pays du Nord et du Sud, a péniblement abouti à une feuille de route pour 2015 englobant pour la première fois tous les pays pour lutter contre le réchauffement climatique. Toutefois, l'accord laisse en suspens le caractère contraignant du futur pacte climatique. Pour les experts, une chose est sûre : les engagements pris ne seront pas suffisants pour contenir le réchauffement sous le seuil des +2 °C.

La dernière conférence internationale s'est déroulée à Rio, symbole de deux décennies écoulées, et s'appelle « Conférence des Nations unies pour le développement durable

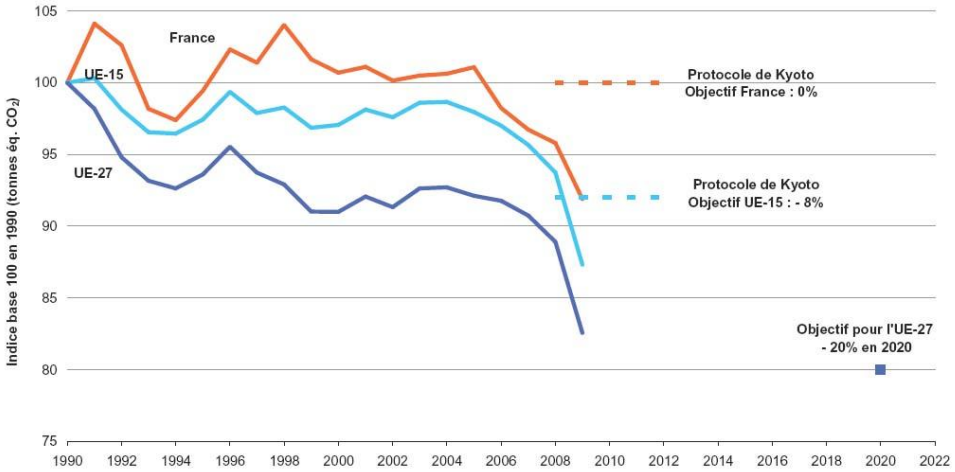
[11] Créé en novembre 1988 à la demande du G7 (aujourd'hui G20) par deux organismes de l'ONU : l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE). Le Prix Nobel de la paix lui a été attribué en 2007 conjointement avec Al Gore.

Rio+20 » (du 13 au 22 juin 2012). Vingt ans après le Sommet de la Terre, Rio+20 rassembla une très grande majorité de chefs d'État et de gouvernement de la planète et fut un moment important de progression dans les réponses à apporter aux crises économique et climatique. L'annexe 1 montre les engagements et les principaux résultats de Rio+20.

Après cet aperçu historique des conférences internationales, il nous faut confronter le discours à la réalité des terrains. Comme l'indique la figure 2 sur l'évolution des émissions agrégées de gaz à effet de serre, on constate qu'entre 1990 et 2009, la diminution de celles-ci pour la France atteint 8,1 %, dépassant ainsi l'objectif de stabilisation du protocole de Kyoto.

La figure 1.2 révèle une évolution présentant la même tendance pour l'Europe des 15 et l'Europe des 27. Néanmoins, depuis 1990, les efforts de réduction de ces émissions de gaz nocifs sont différents suivant les groupes de pays.

Figure 1.2 : Évolution des émissions agrégées des six gaz à effet de serre pour la France et l'Union européenne. Indice base 100 en 1990 (tonnes éq. CO_2)[12]



La période 1992 à 1994 correspond au moment de la première conférence de Rio (1992). Si nous constatons une réduction durant ces années, nous pouvons aussi voir que les pays de l'Europe ont rapidement repris leurs vieilles habitudes à travers les progressions de ces émissions, comme l'atteste la première partie de la courbe de la figure 1.2. Ensuite, à l'approche de la conférence de Rio + 20, en 2012, ces émissions ont à nouveau chuté.

Dans le cadre du protocole de Kyoto, l'UE-15 s'est engagée à réduire ses émissions de 8 % à l'horizon 2008-2012 par rapport à 1990. L'objectif pour la France est la stabilisation de ses émissions, du fait de son faible niveau d'émissions par habitant. À l'horizon 2020, l'Union européenne (UE) s'est engagée à diminuer ses émissions de 20 % par rapport à 1990. La France participe avec un engagement à diviser par 4 ses émissions à l'horizon 2050.

L'inventaire de la France montre une baisse des émissions du « panier Kyoto » de 8,1 % en 2009 par rapport à 1990, mesurée en pouvoir de réchauffement global.

L'évolution des émissions de gaz à effet de serre est toutefois variable selon les gaz. Les émissions de CO_2, qui constituent 72 % des émissions totales en 2009, sont en retrait de 5,1 % depuis 1990. 95 % de ces émissions de CO_2 sont liées à la combustion d'énergie. Les émissions de méthane (CH_4, 13 % des émissions) ont baissé de 2,3 % depuis 1990, grâce

[12] Institut national de la statistique et des études économiques (Insee), Agence européenne pour l'environnement, SOeS, d'après Citepa, inventaire CCNUCC, Stratégie nationale de développement durable, rapport, mai 2011, 35 p.

notamment à la fermeture des mines de charbon et au recul de l'activité d'élevage de ruminants. Les émissions de protoxyde d'azote (N_2O, 12 % des émissions) diminuent d'un tiers, en raison de la baisse des émissions de l'industrie chimique. Enfin, l'utilisation accrue de gaz fluorés dans les systèmes de refroidissement explique la forte augmentation de leurs émissions (+63 %)[13].

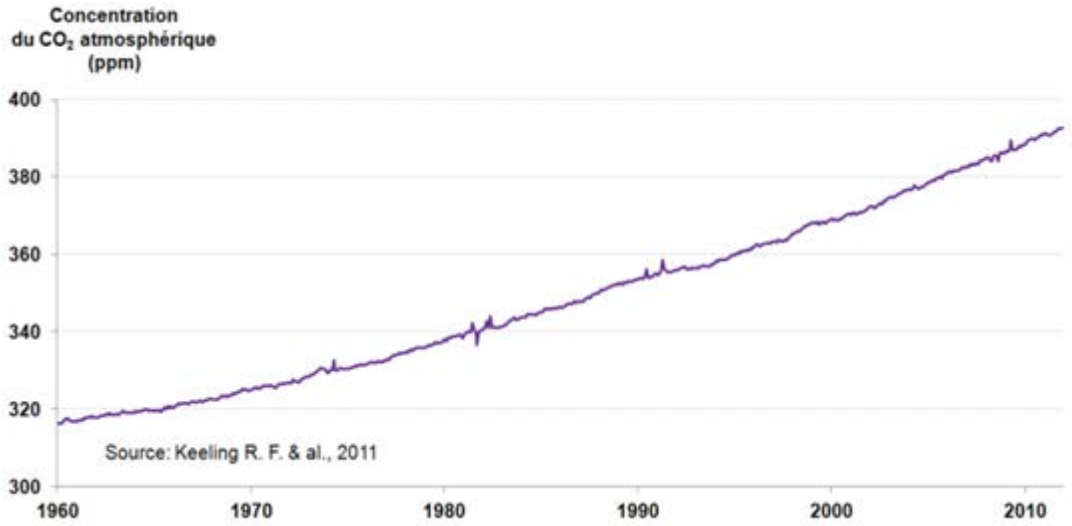
Au sein de l'UE-15, les émissions de gaz à effet de serre ont diminué de 12,7 % entre 1990 et 2009, dépassant ainsi l'objectif du protocole de Kyoto (-8 %). Au cours de la même période, les émissions de l'UE-27 ont chuté de 17,4 %.

Si l'Union européenne a atteint son objectif en 2012, les autres États responsables de cette émission sont loin de ça.

L'étude réalisée par la World Ressources Institute, publiée en février 2010 sous le titre *Carbon Dioxide (CO_2) inventory report for calendar year 2008* et menée par Thomas Damassa, montre que l'émission de gaz CO_2 au niveau mondial est en augmentation en ce sens que les pays industriels et les pays en développement ne respectent pas les perspectives adoptées dans les conférences et les sommets internationaux.

Une autre étude, préparée en vue de la conférence de Rio+20, réalisée par l'Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie, montre aussi l'augmentation de l'émission de CO_2 dans le monde entier (figure 1.3).

Figure 1.3 : Évolution de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère (ppm)[14]



Cette représentation graphique renseigne sur le fait que, malgré tous les efforts de certains pays, et les recommandations des Sommets de la Terre, la qualité de notre atmosphère n'en profite pas. Le CO_2 continue à connaître une concentration de plus en plus forte dans l'atmosphère, et, plus les années passent, plus la concentration s'élève. En effet, le niveau de concentration de CO_2 dans l'atmosphère est passé de 300 ppm en 1970 à 400 ppm en 2010. Ce constat montre les dégâts causés en permanence par les industries, les transports, les besoins de chauffage et de climatisation utilisant les énergies fossiles sur notre

[13] Rapport *Repères, Les indicateurs de la stratégie nationale de développement durable 2010-2013*, Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Insee, Édition 2012, 13 p.

[14] C. Villeneuve, *Forêts et humains : une communauté de destins*, rapport, Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie, 2011, 12 p.

environnement. L'urgence du respect des objectifs de développement durable (ODD) du Sommet de Rio+20 n'en est que plus flagrante.

3.1. Le défi énergétique du bassin Méditerranée

Selon l'Association méditerranéenne des agences nationales de maîtrise de l'énergie, une hausse significative de la demande en énergie primaire est attendue pour l'ensemble de régions, atteignant plus de 1,2 milliard de tonnes équivalent pétrole (TEP) en 2020, et 1,4 en 2030, contre 1 en 2008. La part des pays du sud et de l'est de la Méditerranée (PSEM) devrait augmenter de 31 % à 40 % en 2020, et 47 % en 2030[15].

Un développement de la région méditerranéenne basé sur l'énergie fossile n'est pas soutenable : 582 millions d'habitants en 2030 consommeront 40 % de plus d'énergie par rapport à 2008, issue à 80 % des énergies fossiles, à 10 % de l'énergie nucléaire et à 10 % des énergies renouvelables. Ces chiffres se fondent sur le scénario tendanciel de l'Observatoire Méditerranée de l'énergie (OME).

Cet accroissement de la demande viendra principalement, selon l'OME, des pays sud et est de la Méditerranée, dont l'intensité énergétique est en constante d'augmentation : « la consommation d'énergie croît en effet plus vite que l'économie mesurée par le produit intérieur brut », du fait de l'absence d'une politique énergétique rationnelle.

En 2008, la consommation d'énergie finale[16] des PSEM était de 214 Mtep pour une population de 271 millions d'habitants. Le taux de croissance moyen annuel de la consommation d'énergie finale des PSEM depuis 1990 est de 3,8 % et devrait se maintenir à 3,5 % jusqu'en 2030, sous l'effet de plusieurs phénomènes : une forte croissance démographique (1,2 % par an), combinée à un taux d'urbanisation rapide et à d'importants besoins en développement socio-économique constituent les principaux facteurs déterminants générant une croissance et une demande nouvelles pour les services et l'infrastructure énergétique.

La figure 1.4 fait apparaître l'intensité énergétique finale[17] pour chacun des PSEM, ainsi que la moyenne pour l'Union européenne (EU-27). L'observation de cette figure montre une position très élevée pour la Syrie par rapport aux autres pays du PSEM et de l'EU-27. Cela traduit l'absence de politique d'efficacité énergétique.

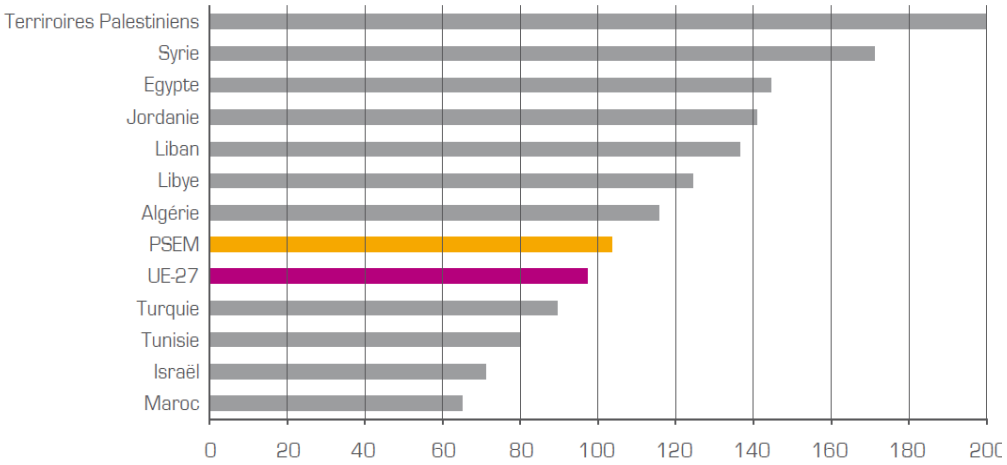
---

[15] Plan bleu, Banque européenne d'investissement et Euromed, *Changement climatique et énergie en Méditerranée*, rapport, juillet 2008, 11 p.

[16] La consommation de l'énergie finale est la somme des différents secteurs d'utilisation finale (transport, construction, industrie, etc.).

[17] L'intensité énergétique finale est un ratio qui indique la quantité d'énergie finale consommée par unité de produit intérieur brut (PIB), à parité de pouvoir d'achat (PPA).

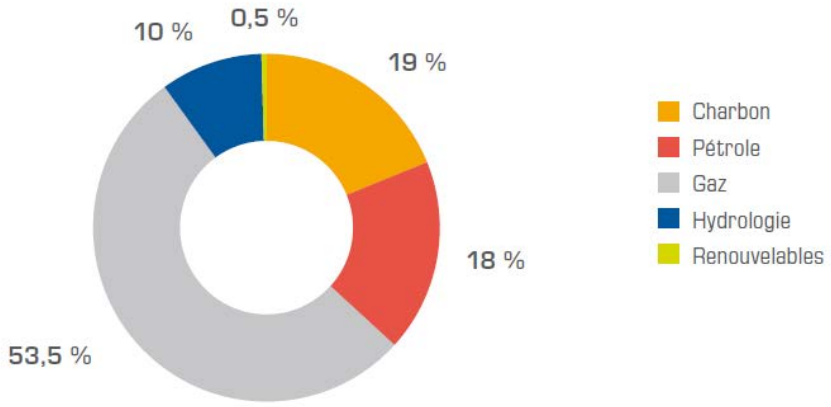
Figure 1.4 : Intensité énergétique finale (PSEM-2008)[18]
Tonne équivalent pétrole / Unité de PIB en millions $ 2005 PPA (tep/M$ 2005)



La figure 1.4 montre l'intensité énergétique finale dans les pays PSEM selon l'observatoire méditerranéen de l'énergie (OME). Dans cette intensité énergétique, l'électricité représente une grande part de ces consommations.

La figure 1.5 montre que, pour l'année 2008, 89,5 % de la production électrique des PSEM provient de combustibles fossiles. Par contre, les énergies issues de sources propres (hydraulique et renouvelable) sont encore très marginales, puisqu'elles ne représentent que 10,5 % de la production d'électrique totale.

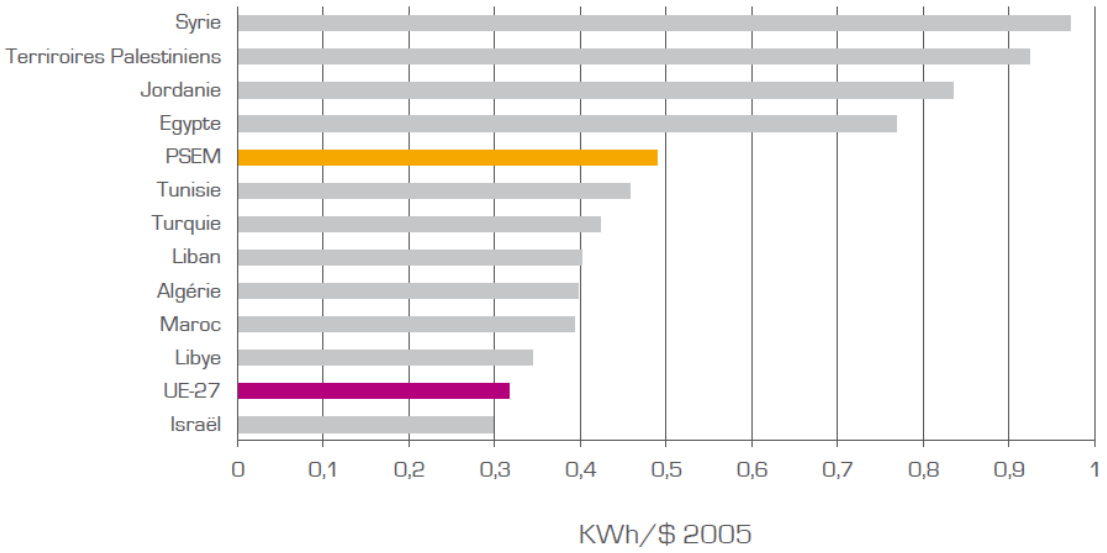
Figure 1.5 : Production d'électricité par produit (PSEM-2008)[19]



Le ratio entre la quantité d'énergie électrique finale consommée (kWh) par unité de produit intérieur brut (PIB, en $) donne un indicateur statistique appelé l'intensité électrique. La figure 1.6 illustre cette intensité. L'utilisation de l'électricité par unité de PIB en Syrie est de 0,97 kWh/$ contre 0,31 kWh/$ pour l'Europe. Ainsi, l'intensité électrique est 3,31 fois plus élevée en Syrie qu'en Europe, et 2 fois plus élevée en Syrie en comparaison avec la moyenne des Pays du sud-est de la Méditerranée.

[18] MED ENER - OME, « L'efficacité énergétique dans les pays sud et de l'est de la méditerranée : panorama des politiques et des bonnes pratiques », rapport, éd :HAVAS DESIGN PLUS, France, 2011, 56p, P11.
[19] *Ibid.*

Figure 1.6 : Intensité électrique des PSEM en 2008[20]



Cette valeur élevée de l'intensité électrique en Syrie traduit à la fois le système de subvention étatique des tarifs électriques et l'absence de la notion d'efficacité énergétique.

Selon les statistiques officielles de l'Agence française de développement (AFD), la consommation d'énergie dans les pays du sud et de l'est de la Méditerranée a été multipliée par 6 entre 1971 et 2007 (de 48 à 291 millions de tonnes équivalent pétrole). Pour sa part, la consommation d'électricité a connu un taux de croissance annuel moyen de 7,9 % durant les 25 dernières années, même si ces pays, dans leur ensemble, exportent plus d'énergie qu'ils n'en importent.

4. Les secteurs des activités énergivores

Les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979 ont porté un coup très dur aux économies occidentales, dont la prospérité était en partie liée à l'achat de pétrole à très bas prix. Les augmentations brutales des prix pétroliers ont engendré une prise de conscience de la dépendance de l'économie générale des pays industrialisés envers les énergies non renouvelables. Ce constat est pour partie à la base d'une reconversion du système de consommation énergique, dans lequel les énergies renouvelées apparaissent comme une des solutions. Pour autant, qu'en est-il de la situation dans les pays en voie de développement ?

4.1. Chiffres clés selon les niveaux de développement

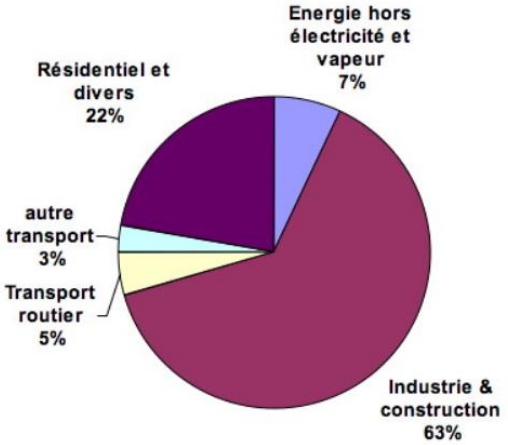
Dans les pays en voie de développement, la majeure partie des émissions est produite par les secteurs de l'industrie et de la construction, en raison du décalage dans le temps de l'édification de l'appareil productif. Dans les pays développés, la majeure partie des émissions GES est due au transport et au logement.

Selon les chiffres officiels de l'Agence internationale de l'énergie (AIE), les secteurs de l'industrie et de la construction représentent la consommation énergétique majeure dans ces pays. Comme l'indique la figure 1.7 sur la répartition par activité des émissions de CO_2, 63 %

[20] *Ibid.*

des gaz à effet de serre ont pour origine l'industrie et la construction, contre 22 % pour le résidentiel.

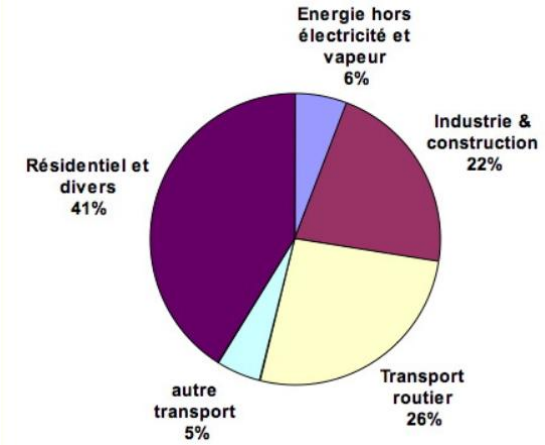
Figure 1.7 : Répartition par activité des émissions de CO_2 seul en 2007 pour un pays en cours d'industrialisation[21]



Ces chiffres montrent l'importance qu'il y a d'adopter des politiques énergétiques cohérentes et en relation étroites avec le contexte de chaque pays.

Dans les pays développés, comme le montre la figure 1.8, le secteur principal d'émission de CO_2 est le résidentiel, avec près de 41 % de l'émission totale. Cette valeur élevée dans le secteur résidentiel est dû au recours à des combustibles fossiles pour alimenter les maisons (chaudières à gaz, électricité produite par les énergies fossiles, etc.). Le secteur du transport produit 26 % des émissions de CO_2 en raison du fait que la majeure partie du transport, notamment de marchandises, se fait par la route.

Figure 1.8 : Répartition par activité des émissions de CO_2 seul en 2007 pour un pays développé[22]



[21] Manicore, http://www.manicore.com/documentation/serre/GES.html, Comment évoluent actuellement les émission de gaz à effet de serre ?, 2013.

[22] *Ibid.*

5. Contexte énergétique en Syrie

La Syrie est un pays situé dans le Moyen-Orient s'étendant sur 185 181 km^2 et comptant 22 millions d'habitants environ. Avec une bande côtière de 173 km sur la mer méditerranée. La carte 1-1 illustre la position de la Syrie dans la région Est-Méditerranée.

Carte 1-1 : Carte de la Syrie

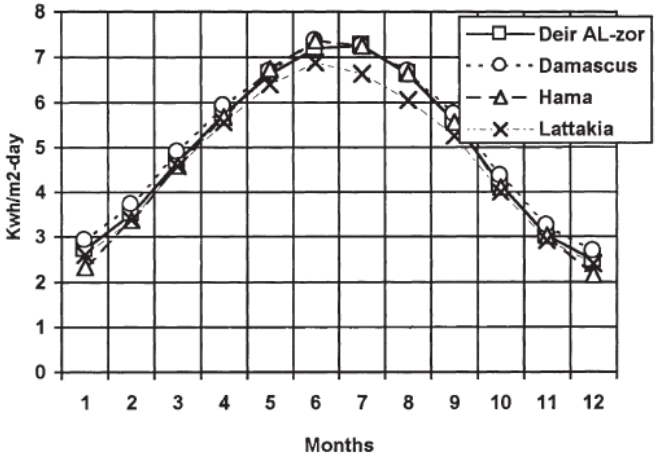
Sa position géographique est située entre 32°3' et 37 ° de latitude au nord de l'équateur, et entre 36 ° et 42°4' de longitude à l'est de Greenwich. En Syrie, quatre climats et zones géographiques sont présents :

- une zone côtière de l'ouest du pays, avec une façade méditerranéenne de 173 km ;
- une zone montagneuse positionnée en parallèle de la zone côtière vers l'est ;
- une zone de plateau au nord ;
- une zone désertique à l'est du pays.

5.1. Les sources énergétiques disponibles et exploitées

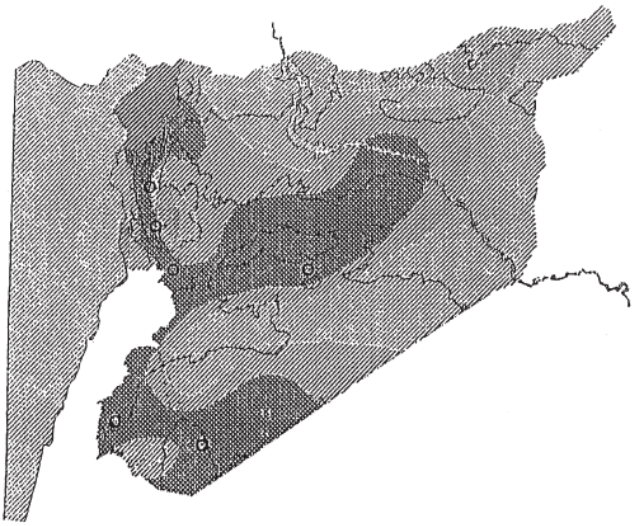
Comme la Syrie est un pays méditerranéen, il profite aussi bien d'une source solaire que de vents assez considérables. En ce qui concerne l'énergie solaire, le taux moyen d'irradiance solaire est de 5 kWh/m^2, équivalent à 1 825 kWh/m^2 pour tout le territoire syrien, avec un taux d'ensoleillement variant entre 2 820 et 3 270 heures/année. Le nombre de jours nuageux est compris entre 38 et 45 jours. La figure 1.9 montre les valeurs moyennes mensuelles d'irradiance solaire globale dans quatre villes syriennes.

Figure 1.9 : La radiation solaire mensuelle sur un plan horizontal pour quatre villes syriennes[23]



Le vent représente une source prometteuse d'énergie renouvelable en Syrie, comme le soleil. La Syrie est divisée en quatre régions (A, B, C et D) selon la vitesse du vent. La figure 1.10 montre ces régions. La vitesse du vent dans la zone A est comprise entre 5 et 12 m/s, avec une durée moyenne de l'ordre de 53,7 % pendant sept mois par an. La zone B présente une vitesse de vent de 4,5-10 m/s, avec un durée moyenne de l'ordre de 34 % pendant quatre mois par an. Les zones C et D présentent une vitesse de vent de 4,5-7 m/s.

Figure 1.10 : Les sources des vents en Syrie[24]



	Hills and Edges		Clear sea surface		Sea shore		Open area	
	W. m²	m/s	W. m²	m/s	W. m²	m/s	W. m²	m/s
	1200-1800	10-11.5	600-800	8-9	400-700	7-8.5	300-500	6.5-7.5
	700-1200	8.5-10	400-600	7-8	250-400	6-7	200-300	5.5-6.5
	400-700	7-8.5	200-400	5.5-7	150-250	5-6	100-200	4.5-5.5
	<400	<7	<200	<5.5	<150	<5	<100	<4.5

Plusieurs études de faisabilité ont été réalisées pour profiter de l'énergie du vent. Celle du groupe RISO a étudié la faisabilité de l'installation d'un parc d'éoliennes d'une puissance de

[23] A. Al-Mohamad, Renewable energy resources en Syria « les sources d'énergie renouvelables en Syrie », Pergamon, 2001, p. 366

[24] A. Al-Mohamad, Renewable energy resources en Syria « les sources d'énergie renouvelables en Syrie », Pergamon, 2001, p. 368

5 MW dans la ville de Hama (à l'intérieur de pays). Les résultats de cette étude montrent l'importance de cette source d'énergie, fortement disponible dans le pays.

La Syrie présente une richesse en énergie renouvelable solaire et en vent ; la biomasse est une richesse supplémentaire qui est utilisée par les hommes de la région depuis longtemps. Une étude, réalisée par Ali-Al-Mohammad[25], montre que la production en biogaz d'origine humaine, animale et issue de l'agriculture est supérieure à 300 000 000 m^3/an.

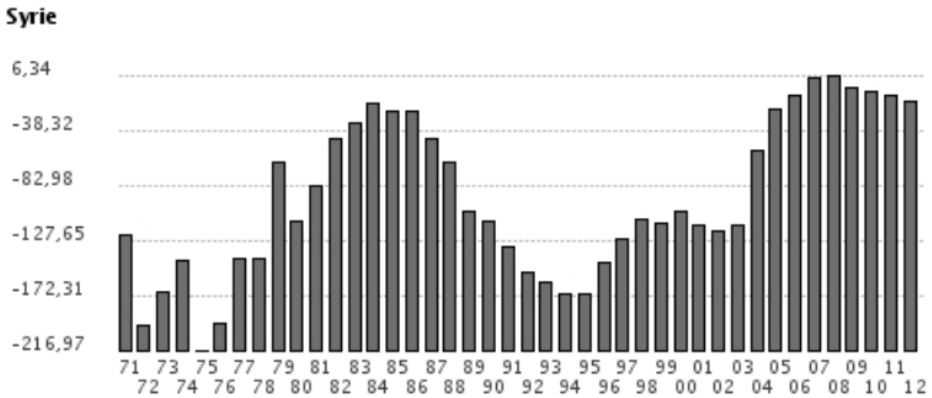
Si les chiffres précédents montrent une richesse importante en ressources naturelles pour produire de l'énergie (soleil, vent, biomasse), la production d'énergie en Syrie dépend principalement des énergies fossiles brûlées. Ce mode de production est très fort au Moyen-Orient.

La Syrie est un pays producteur de pétrole, jusqu'à une certaine limite. La gravité de la situation est illustrée par les indicateurs suivants : celui de la production de pétrole et celui de la consommation d'énergie.

En ce qui concerne la production de pétrole, les chiffres officiels du ministère du Pétrole et des Ressources minières en Syrie (MOPMR)[26] montrent une baisse importante de la production. Après avoir atteint 610 000 b/j en 1995, la production n'a cessé de décliner pour se stabiliser, en 2008, à 370 000 b/j. Un autre chiffre du ministère des Finances montre que le secteur des hydrocarbures constitue un enjeu stratégique pour l'économie syrienne. Ainsi, la part des revenus pétroliers dans les recettes budgétaires était de 70 % en 2002, mais seulement de 22 % en 2010. La chute de la production de pétrole de 40 % a remis en cause le système économique de l'ensemble du pays, faisant passer la Syrie du statut d'exportateur à celui d'importateur.

La figure 1.11 montre que l'importation nette d'énergie est devenue positive ces dernières années. Ce pourcentage donne un indicateur énergétique et économique dont il faudra tenir compte à l'avenir.

Figure 1.11 : Importations nettes d'énergie en Syrie (en % de la consommation commerciale d'énergie)[27]



Un rapport d'étude a été publié conjointement par le Centre national de la recherche énergétique en Syrie (NERC) et d'autres organismes internationaux[28]. Ce rapport montre les

[25] A. Al-Mohamad, Renewable energy resources en Syria « les sources d'énergie renouvelables en Syrie », Pergamon, 2001, p. 370

[26] http://mopmr.gov.sy/index.php/petroleumnews/archived-articles.html,

[27] La Banque mondiale, *Perspective monde ?*, Université de Sherbrooke, 2013.

différents indicateurs énergétiques dans le pays pour l'année 2008, entre la demande totale d'énergie et d'électricité et la production des différentes sources énergétiques disponibles dans le pays.

Cette étude illustre la faible exploitation des secteurs énergétiques renouvelables (hydraulique et biomasse), qui contribuent seulement à 5,7 % du bilan énergétique total du pays. Il montre aussi l'importance de l'électricité comme source principale d'énergie, avec une attribution de l'ordre de 39 % par rapport à la balance énergétique du pays. Tableau 1.1

Tableau 1.1 : Principaux indicateurs de l'énergie demandée et consommée en Syrie en 2008[29]

TERME	UNITE	VALEUR
Population	Million	20
Demande énergétique totale	M tonne	23,2
Production de pétrole	M tonne	17,1
Gaz naturel	M tonne	4,8
Hydroénergie	M tonne	0,72
Biomasse	M tonne	0,6
Demande en électricité	Billion KWh	41
GDP	Billion euros	31,8
Intensité énergétique	Kg OE /année	730
Pourcentage d'attribution de l'électricité par rapport à la balance énergétique	%	39

5.2. La consommation d'énergie

Si le premier indicateur, la production de pétrole, est en baisse, le deuxième indicateur, la consommation d'énergie, est en hausse. D'après la figure 1.12, la consommation totale en énergie de la Syrie augmente d'année en année. L'évolution, pour l'ensemble de la période 1971-2009, montre une moyenne annuelle de 11 047,6 ktep.

Le plus haut niveau de la consommation énergétique en Syrie a été atteint en 2008 avec 25 362,1 ktep – chiffre à comparer avec le plus bas niveau, atteint en 1972 : 1 979,5 ktep. Il faut noter qu'il n'existe pas de chiffre avant 1971.

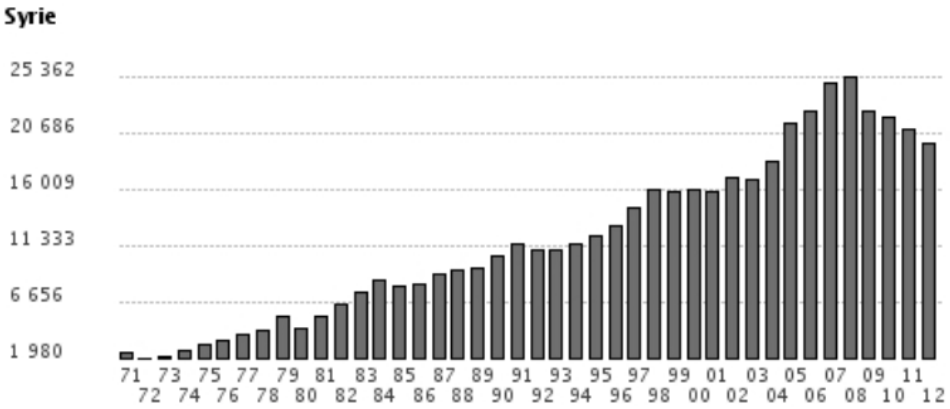
Pour effectuer le calcul de la croissance de la consommation énergétique, nous disposons des résultats sur 38 années, entre 1971 et 2009. Sur la base de ces informations, nous pouvons estimer qu'en 2010, ces données devraient être de l'ordre de 22 503,3 ktep. Construite selon un modèle statistique fort simple, cette prévision présente un niveau de fiabilité élevé, puisque les variations des 38 années présentent une structure relativement simple, comme l'illustre la figure 1.12. La croissance de la consommation a été de 846 % en 38 ans.

---

[28] M. Adrah, Centre national de la recherche énergétique en Syrie, ADEME, WEC, UNDP, « Energie efficiency in Syrie, current situation and future prospects », rapport, mars 2010, 9 p.

[29] *Ibid.*

Figure 1.12 : Consommation de l'énergie en Syrie en ktep (kilotonnes d'équivalent pétrole)[30]



Ainsi, les chiffres officiels (figures 12 et 13) montrent que la production en pétrole est en baisse et que la demande en énergie est en hausse. Plusieurs facteurs expliquent ce phénomène : la croissance démographique et urbaine, l'industrialisation du pays.

A. Hainoun[31] a analysé l'évolution de la demande en énergie et en électricité en Syrie entre les années 1999 et 2030, en se basant sur quatre réflexions :

- une réflexion sociale : selon le mode de vie ;
- une réflexion économique : en tenant compte du développement de l'industrie en Syrie ;
- une réflexion technique : en évaluant l'efficacité énergétique et l'utilisation des solaires thermiques ;
- une réflexion démographique : en analysant l'évolution démographique.

Les scenarii sont classés en trois catégories de développement de l'économie et d'efficacité énergétique :

- HS : économie en hausse avec efficacité énergétique moyenne ;
- ES : haute efficacité énergétique et économie en hausse ;
- LS : économie et efficacité énergétique basses.

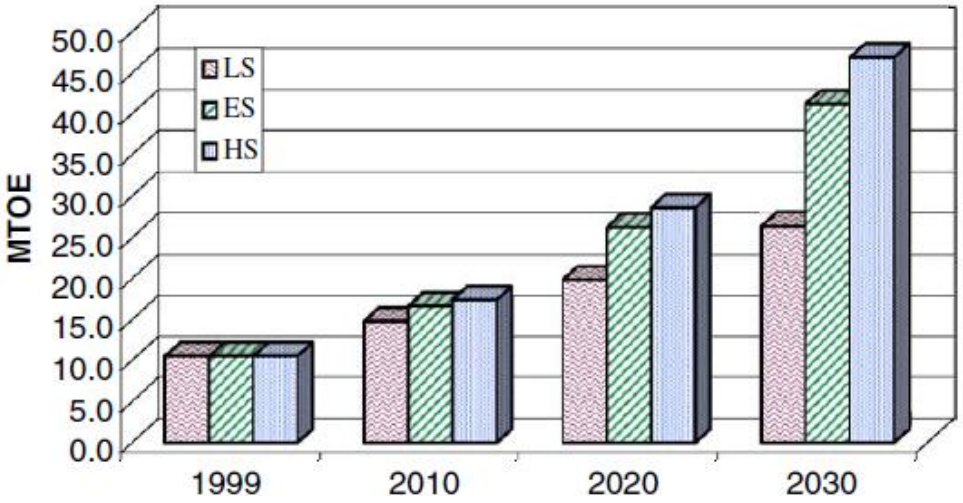
Les résultats de cette étude, réalisée selon le modèle MAED[32] pour calculer l'énergie demandée pour l'ensemble des secteurs de la consommation en Syrie, sont illustrés dans la figure 1.13.

[30] La Banque mondiale, Perspective monde, Université de Sherbrooke, 2013.

[31] A. Hainoun *et al.*, « Analysis of the Syrian long-term energy and electricity demand projection using the end-use methodology », *Energy Policy*, 34, 2006.

[32] Model for analysis of energy demand (IAEA).

Figure 1.13 : Projection finale des demandes d'énergie pour les différents scenarii[33]

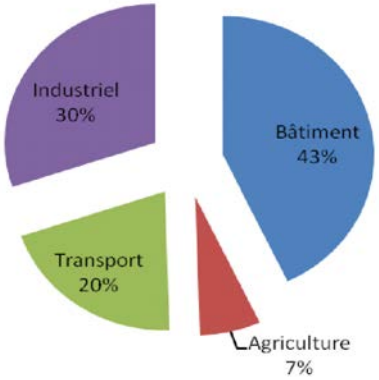


Selon cette étude, la prévision de la demande en l'énergie dans les trois scenari choisis est très éloignée de la production énergétique totale illustrée dans le tableau 1.1, surtout avec le scénario le plus proche de la réalité actuelle (HS), avec une économie en hausse et une efficacité énergétique moyenne. Ce scénario présente une prévision de la demande en énergie deux fois supérieure à la production énergétique actuelle, donc une faillite énergétique à prévoir dans les années à avenir.

5.3. Répartition énergétique selon les secteurs d'activités

La Syrie est un pays en voie de développement avec une demande et d'usage en énergie en hausse. La majeure partie de cette énergie est consommée dans l'industrie du bâtiment, avec 43 % de la demande totale d'énergie dans le but de refroidir en été et de chauffer en hiver. Les bâtiments constituent le poste le plus important en consommation d'énergie. Cette répartition est illustrée dans la figure 1.14.

Figure 1.14 : Répartition de la demande d'énergie primaire en Syrie par secteur en 2008[34]



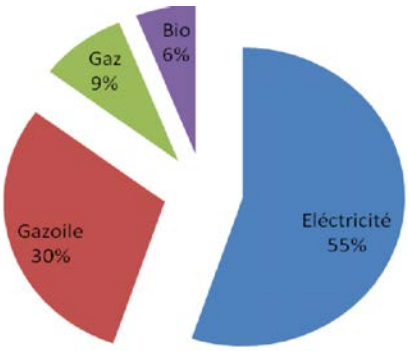
La figure 1.15 montre la distribution de l'énergie consommée dans le secteur du bâtiment selon la source de production.

---

[33] A. Hainoun *et al.*, « Analysis of the Syrian long-term energy and electricity demand projection using the end-use methodology », *Energy Policy*, 34, 2006, 9 p.

[34] M. Adrah, Centre national de la recherche énergétique en Syrie, ADEME, WEC, UNDP, « Energie efficiency in Syrie, current situation and future prospects », rapport, mars 2010.

Figure 1.15 : Distribution de l'énergie consommée dans le secteur de bâtiment en Syrie, 2008[35]



L'analyse du bilan en énergie consommée dans le secteur de bâtiment en Syrie montre que la part de l'électricité est de 55 %. La raison principale de ce pourcentage est que l'électricité est subventionnée par l'État et que les ménages l'utilisent sans prêter attention à leur niveau de consommation. Le pourcentage de 30 % pour le gasoil s'explique par l'usage en chauffage et en eau chaude sanitaire. Le gaz représente 9 % de la consommation, utilisé essentiellement pour la cuisson. L'énergie produite à partir des sources renouvelables ou biologiques (énergie solaire et biomasse) est minoritaire et représente seulement 6 % de la consommation totale.

En raison de la non-conformité des bâtiments au climat, la consommation d'énergie est élevée en Syrie. En conséquence, les répercussions des problèmes énergétiques sur le budget national sont très importants (figure 1.11), impliquant une importation nette d'énergie ces dernières années.

Si les centres producteurs d'électricité dans le pays sont essentiellement des centrales thermiques, c'est sans doute d'abord parce que l'énergie d'origine fossile était importante en Syrie. Si ce sont encore les centrales thermiques qui sont majoritaires, c'est plutôt parce que le virage du changement de source d'énergie n'a pas été encore pris.

5.4. Le coefficient de conversion énergétique de l'électricité en Syrie

La gestion de la production d'électricité en Syrie est centralisée.

En 2004, la production d'électricité nationale était de 32 137 MW[36], dont 4 175 MW étaient d'origine hydraulique (13 %) et 27 962 MW d'origine thermique (fuel et gaz), soit 87 %.

En 2009, la production d'électricité nationale était de 43 406 MW, dont 1 866 MW d'origine hydraulique (4,3 %) et 41 540 MW d'origine thermique, cette dernière source représentant 95,7 % de la production totale.

Malgré l'augmentation en production de l'électricité entre 2004 et 2009, de l'ordre de 35 %, la part de l'électricité produite d'origine hydraulique est en baisse de 55 % et la production de l'électricité d'origine fossile est en hausse, de l'ordre de 49 %. Cette baisse de la production d'origine hydraulique est due à plusieurs facteurs, certains d'origine naturelle[37], d'autres d'origine humaine. À cela s'ajoute une exploitation non optimale des ressources naturelles.

---

[35] *Ibid.*

[36] Statistique nationale de l'établissement public d'électricité, « La Syrie », rapport, 2010.

[37] Le pays souffre de sécheresses suite à la baisse de la moyenne des précipitations.

Pour bien identifier les coûts d'électricité dans un pays, il est nécessaire de connaître le coût réel de cette énergie finale par rapport à l'énergie primaire. La conversion énergie primaire/énergie finale permet de pouvoir mieux intégrer les rendements de chaque source d'énergie utilisée. Il est important de connaître ou de calculer la valeur du coefficient du vecteur énergétique de l'électricité en Syrie. Pour atteindre cet objectif, quelques principes sont nécessaires pour mieux comprendre ce calcul.

L'énergie primaire est l'énergie contenue dans les ressources naturelles avant une éventuelle transformation. Le fioul ou le gaz sont des exemples d'énergie primaire. L'énergie finale est l'énergie utilisée par le consommateur, après transformation des ressources en énergie et après transport. En rapportant tout en énergie primaire, le but est de pouvoir mieux comparer les consommations pour les différents types d'énergie. Cela est particulièrement important, notamment pour la réglementation thermique, qui doit être égale pour tous les types d'énergie.

5.4.1. Les conversions pour l'électricité

L'électricité est l'énergie la plus utilisée en Syrie (environ 39 % de la consommation totale)[38]. C'est une énergie qui est le résultat d'une transformation d'autres ressources naturelles, comme le fait de brûler les énergies fossiles ou d'exploiter les puissances hydrauliques. Le rapport **R** entre l'électricité produite et l'énergie primaire consommée représente la conversion de l'électricité.

En Syrie, il n'y a pas de définition de cette valeur. Nous devons donc la calculer en nous basant sur les chiffres et les rapports nationaux officiels de l'Établissement général de l'électricité.

Pour effectuer ce calcul, il faut connaître le pourcentage de chaque type d'énergie utilisée pour produire l'électricité et leur rendement, en prenant en compte les pertes sur le réseau. Le tableau 1.2 montre les types d'énergie utilisés pour produire l'électricité en Syrie.

Tableau 1.2 : Types d'énergie utilisés pour produire l'électricité en Syrie[39]

TYPE D'ENERGIE	*RENDEMENT DE CONVERSION ENERGETIQUE (PRIMAIRE/ELECTRICITE)*	*PART DE LA PRODUCTION*
Énergie fossile (fuel et mazout)	**38 %**	**95,7 %**
Énergie renouvelable (barrages)	**100 %**	**4,3 %**

Un calcul de proportionnalité donne un rendement énergétique moyen de 40,67 %, ce qui correspond à un coefficient de 2,46.

Il faut également prendre en compte les pertes sur le réseau dans l'évaluation de rapport **R**. Les pertes sur le réseau ont été estimées à 3,05 % en 2010, selon le rapport officiel. Cette perte est estimée pour les lignes haute et très haute tension. Les pertes sur les lignes basse tension et sur les transformateurs sont de 10 %. En conséquence, nous prenons en compte les pertes en ligne à 7 %. Cela donne un rendement global de 33,67 % et donne un coefficient de conversion pour l'électricité en Syrie de 2,97. Cela signifie que 1 kwh en énergie finale sous forme à électricité correspond au 2.97 kwh consommé en énergie primaire.

---

[38] M. Adrah, Centre national de la recherche énergétique en Syrie, ADEME, WEC, UNDP, « Energie efficiency in Syrie, current situation and future prospects », rapport, mars 2010.

[39] Ministère de l'Électricité syrienne, « La Syrie », rapport, 2012.

Par comparaison, le facteur de conversion pour l'électricité en France est de 2,58 kwh_{EP}.

Cette comparaison nécessite de la prudence. En France, il y a moins de perte sur le réseau, mais il y a aussi une production nucléaire importante, ainsi qu'une production d'origine hydraulique qui justifie une valeur de conversion électrique moins importante qu'en Syrie. Ce facture est également la résultat d'accord entre pouvoir public et entreprises énergétiques, ce qui est difficile à intégrer dans notre analyse.

Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre l'importance de l'enjeu énergétique, depuis les fondements théoriques et législatifs jusqu'aux enjeux de production énergétique actuels. Nous avons montré l'importance du secteur du bâtiment au point de vue énergétique dans les pays développés et en développement.

Si les réactions des pays développés, face aux problèmes de développement durable, sont fortes et donnent des résultats depuis plusieurs années, les réactions des pays en voie de développement, comme la Syrie, restent marginales.

En Syrie, malgré les ressources naturelles disponibles dans le pays, la production de l'énergie est principalement basée sur le pétrole, alors que la production de celui-ci est en baisse. Les prévisions montrent un besoin énergétique plus grand que la production actuelle. Et l'écart va s'accroître.

Pour évaluer le coût de l'électricité par rapport aux énergies primaires consommées pour la produire, nous avons calculé le coefficient de conversion énergétique de l'électricité à partir des données statistiques sur les sources d'énergie et sur les rendements des usines de production. Cette évaluation donne un valeur de 2,97 kwh_{EP} pour chaque 1 kwh_{EF}.

Dans le prochain chapitre, nous allons présenter et analyser une ville syrienne, plus précisément une ville côtière, dresser un constat réel de la construction et choisir les catégories de bâtis les plus consommateurs d'énergie.

Chapitre 2.
Tartous, une ville typique du Moyen-Orient

Introduction

Ce travail de recherche sur l'innovation et la transition énergétique a trouvé dans la ville de Tartous un terrain d'analyse empirique. Le choix de cette ville est dû à plusieurs motifs. Le premier choix est justifié par le fait que Tartous est une ville typique de la région est de la Méditerranée, tant au niveau social, qu'aux niveaux urbain, architectural ou dans le choix des matériaux de construction et des techniques des équipements de chauffage et de climatisation.

Le deuxième motif est que la ville de Tartous est la ville natale de l'auteur de cette recherche. Ainsi, la récolte d'informations, l'établissement de réseaux (établissements publics, techniques et sociaux) et l'identification de personnes-ressources ont été facilités.

Pour innover dans la construction des bâtiments, à travers, entre autres, le recours aux pratiques d'éco conceptions pour réaliser des bâtiments, des quartiers et une **ville durable**, il faut commencer par étudier le contexte urbanistique et architectural de la ville. Dans un second temps, il est nécessaire de mettre en lumière les besoins et les consommations en énergie de la ville afin de montrer les perspectives de gains (économie, meilleure gestion, meilleur cadre de vie, bien-être) qu'une innovation énergétique dans les bâtiments apportera. Ce sera l'objectif de ce second chapitre.

1. Entre histoire et modernité

Tartous est une ville très ancienne qui a vécu une histoire comparable à celle de la Syrie à travers les époques, depuis la domination grecque jusqu'à la présence ottomane ou encore le mandat français.

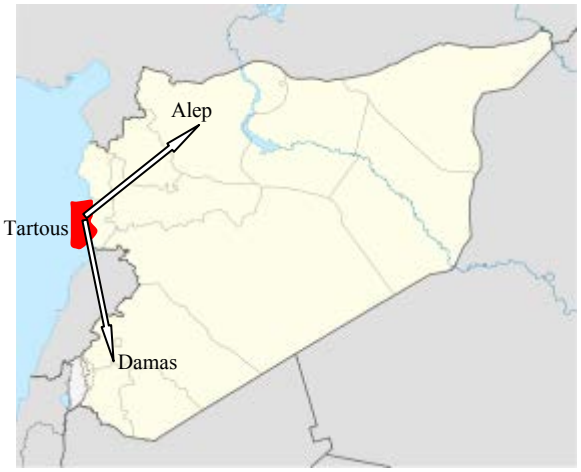
Pour mieux saisir le contexte général de la ville, nous ferons une présentation d'éléments clés de la géographie physique, puis nous aborderons Tartous à travers une lecture historique des civilisations composant la sédimentation de la ville. Enfin, nous exposerons des éléments de planification, car Tartous a connu une série de phases dans son développement à travers des plans d'aménagements.

1.1. Le cadre physique

1.1.1. Aperçu géologique et topographique

Tartous est située sur la côte méditerranéenne. D'une superficie de 2 584 hectares en 2009, la ville recenserait 167 787 habitants selon le Bureau de la statistique nationale. Par sa localisation géographique, la ville a toujours été un centre très attractif pour diverses activités, notamment commerciales, grâce à son port, mais aussi en rapport avec les autres grands centres urbains syriens que sont Alep et Damas. Elle connait aujourd'hui un situation de tension démographique extrême qui justifie un réflexion approfondie sur l'aménagement des nouveaux bâtiments résidentiels, afin que ne se crée pas un déséquilibre énergétique ingérable à court/moyen terme. Cette situation de la ville est illustrée par la carte suivante (figure 2.1).

Figure 2.1 : Illustration de la position du gouvernorat de Tartous en Syrie



Source : M. Salama, 2014

Située dans le Moyen-Orient, la ville est bordée par la mer Méditerranée à l'ouest, le Liban au sud et une autre ville syrienne, Latakieh, au nord. La bande côtière est de 90 km de longueur et de 20 km de largeur. Une chaîne de montagnes (la série des montagnes côtières) parallèle couvre toute la côte.

L'altitude de la ville est de 10 m, selon le Bureau de la statistique nationale de Syrie, et de 5 m selon les données climatiques de Meteonorm, société qui relève et commercialises les mesures climatiques au niveau mondial. Ces données sont importantes à connaître dans le contexte d'une étude sur les effets climatiques sur la ville.

Le climat est de type méditerranéen, caractérisé par un été chaud et humide de juin jusqu'à septembre, et un hiver froid de décembre jusqu'à mars. On constate deux saisons marquées, hiver et été, et deux saisons de transition, au printemps (avril et mai) et à l'automne (octobre et novembre), caractérisées par un climat tempéré et pluvieux.

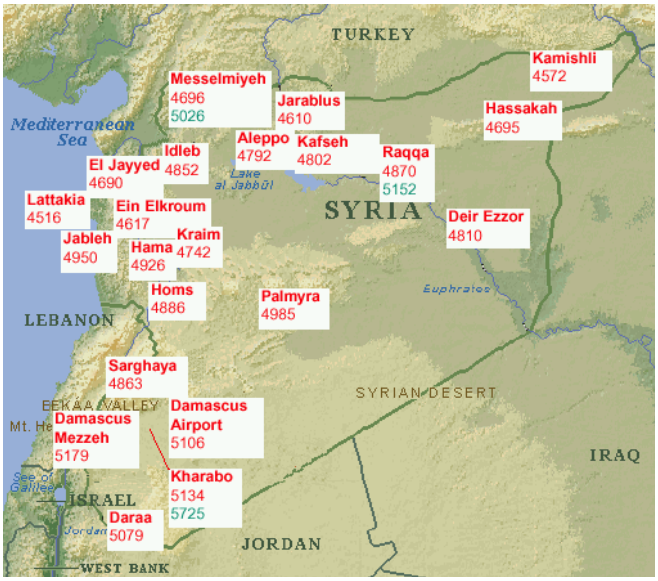
1.1.2. Les données climatiques

Selon les données officielles et les informations recueillies auprès de la société Meteonorm, qui communique les données dans un format exploitable pour la thèse, le climat de Tartous est caractérisé par les paramètres suivants :

- La température : l'amplitude des températures moyennes en hiver et en été est forte. La température hivernale moyenne est de 12 °C et il peut être constaté des jours à 0 °C. De manière similaire, en période estivale, la température moyenne est de 28 °C, et certains jours peuvent être mesurés à 36 °C.
- L'humidité : les régions côtières sont en général humide tout au long de l'année. La ville de Tartous connaît un taux d'humidité relativement moyen en été, de l'ordre de 60 à 70 %, et de 50 à 60 % en hiver.
- La durée d'ensoleillement : la durée d'ensoleillement annuelle atteint 2 896 heures selon les données de Meteonorm (2000 à 2009). À titre de comparaison, Nice connaît un taux d'ensoleillement moyen de 2 724 heures et Paris de 1 661 heures.
- La radiation solaire annuelle sur une surface horizontale est estimée à 4 950 kWh/m² (voir figure 2.2).
- La moyenne de radiation solaire horizontale journalière en Syrie est de 5 kWh/m²/jour.
- La précipitation pluviale : influencé par l'effet de la mer, elle est de l'ordre de 800 à 1 200 mm annuels.

- Le vent : le régime des vents à Tartous est varié. Nous avons présenté, dans la figure 1.9, les caractéristiques de vent en Syrie sous 4 catégories, Tartous étant située dans la zone C, avec une vitesse de vent de 4,5 à 7 m/s.

Figure 2.2 : Radiation solaire journalière sur une surface horizontale en Syrie[40]



1.2. Une ville pour plusieurs civilisations : à la recherche de traces urbaines

Durant le troisième millénaire avant Jésus-Christ, les Phéniciens construisirent Arwad (île en face de Tartous, citée dans la Bible). Les Phéniciens établirent les fondations urbaines de Tartous, qui furent développées par les Grecs.

La ville passa sous le pouvoir des Grecs, des Romains, des Arabes, puis des croisés, qui y construisirent le château de Tartous. La ville fut d'abord nommée Antrados pendant l'Antiquité, ce qui signifie : « la ville en face d'Arados », puis baptisée Tortose par les croisés.

L'alternance des civilisations, tantôt maritimes, tantôt continentales, a déterminé l'importance relative de cette ville.

Le plus grand événement de son histoire fut le tremblement de terre de l'an 387, qui détruisit la ville en épargnant la chapelle, réputée la plus ancienne consacrée à la Vierge Marie. Considérée comme miraculeuse, la chapelle devint un but de pèlerinage. La vieille cathédrale de Notre-Dame de Tartous est devenue le musée national de Tartous (figure 2.3). Toutefois, le château des Templiers demeure le vestige du passé le plus impressionnant.

[40] National energy research center en Syrie. Données statistiques, 2011.

Figure 2.3 : Ancienne cathédrale Notre-Dame de Tartous, actuellement musée national de Tartous[41]

Tartous devint, au XIIe siècle, une place forte de la croisade. Le pèlerinage des Occidentaux jouissait alors d'un grand renom dans le monde chrétien. Avec son église devenue le siège d'un évêché, la ville fut un point d'appui de la civilisation occidentale, qui se présentait sous la forme d'une puissance maritime.

À cette époque, la volonté des Français était d'en faire l'un de leurs plus solides bastions militaires et politiques. Dans cette optique, la forteresse, dans la vieille ville, fut bâtie. Construite en pierres de grande taille avec des éléments de perfection dans son architecture – comme les saillants extérieurs, la porte fortifiée de casemates et reliée à une poterne ouverte à fleur d'eau –, la forteresse abrite la grande salle des chevaliers, qui mesure 44 mètres de longueur et 15 mètres de largeur.

Prise par les Arabes en 1292, puis les Mamelouks et les Ottomans, Tartous devint le chef-lieu d'une unité administrative.

Enfin, en 1920, la région du Moyen-Orient fut soumise au protectorat franco-anglais. La Syrie et Tartous passèrent sous le protectorat français (1920-1946). À cette époque, la ville avoisinait à peine les 2 800 habitants, et seule la vieille ville était habitée, ainsi que quelques quartiers autour du centre historique, comme l'illustre la photographie de la figure 2.4.

Figure 2.4 : Photo aérienne de Tartous en 1920[42]

Du fait de son histoire, Tartous voit cohabiter aujourd'hui en son sein deux groupes religieux : un groupe musulman et un groupe grec orthodoxe.

[41] Archives nationales à Tartous, Syrie, 2010.

[42] Mairie de Tartous, 2011.

2. État des lieux des planifications urbaines à Tartous

Cette section retrace les étapes de la croissance spatiale de la ville en s'appuyant sur les plans urbains que nous avons trouvés.

La ville de Tartous garde les traces de son histoire millénaire, laquelle a fortement influencé son urbanisation. C'est une ville qui conserve les marques des constructions et des quartiers traditionnels dans l'ancienne ville, malgré ses extensions.

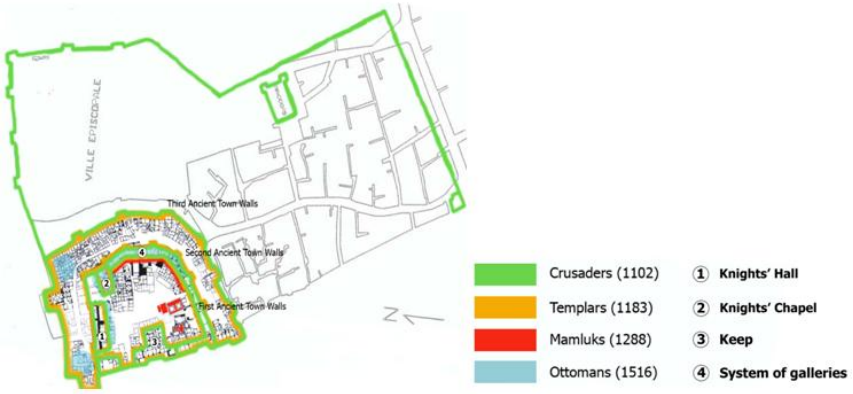
L'ancien quartier, au pied de la vieille ville, a été construit par les Grecs, qui furent les premiers à utiliser des pierres de grande taille dans la construction de l'habitat. La trame viaire antique est encore présente dans l'ancienne ville. Carte 2-1.

Carte 2-1 : Traces des Romains et Byzantins dans la ville ancienne[43]

Source : Rapport Europe-Méditerranée (notre mer), 2002.

La carte 2- 2 indique les traces des civilisations qui ont laissé des marques urbaines encore visibles de nos jours.

Carte 2-2 : Les traces urbaines des croisades, chevaliers du temple, Mamelouks, et Ottomans[44]



Source : Rapport Europe-Méditerranée (notre mer), 2002.

[43] **Chalier. B,** *Euromed Héritage* : un programme culturel dans la processus de Barcelone, rapport, Barcelone. Espagne, 2005, 125 p

[44] *Ibid.*

La carte 2-2 illustre les limites urbaines établies par les croisés, les Mamelouks et les Ottomans, en y associant les équipements que chaque civilisation a ajouté.

Pendant la période du protectorat français (1920-1946), la ville de Tartous couvrait 200 hectares.

2.1. Les plans d'aménagements de la ville

Après l'indépendance de 1946, la mairie de Tartous et la communauté régionale ont réalisé quatorze plans d'aménagement. Nous évoquerons ci-dessous l'extension urbaine de chacun de ces plans.

Le premier plan d'aménagement de la ville a été créé le 29 juin 1946 par décret présidentiel, et couvrait 200 hectares. Dans ce plan, les quartiers concernés étaient la vieille ville, les quartiers historiques et les quartiers existants (populaires et bourgeois). Les extensions concernaient le grand boulevard Althourah et l'ancien port (pour la pêche et le transport maritime entre Tartous et Arwad). Voir carte (2-3).

Carte 2-3: L'extension urbain selon la première plan d'aménagement de 1946.

Source : M. Salama, 2012.

Le deuxième plan d'aménagement de la ville, du 28 avril 1964, sur décision ministérielle numéro 522, a ajouté 183 hectares. Dans ce plan, un deuxième boulevard principal (Alkornish Alsharke) a été ajouté, en parallèle vers l'est, ainsi que de nouveaux quartiers d'habitation avec des rues perpendiculaires assurant le transport et le déplacement vers le centre de la ville. Voir carte (2-4).

Carte 2-4: L'extension urbain selon la deuxième plan d'aménagement de 1964.

Source : M. Salama, 2012.

Le troisième plan d'aménagement, du 16 avril 1975, représente la deuxième plus grande extension dans l'histoire de la ville, en ajoutant 504 hectares. À cette date, Tartous couvrait 887 hectares. Dans ce plan, le nouveau grand port fut placé, ainsi que le grand nouveau quartier Almasroo Alsades, conçu sur les bases suivantes :

- aménager des quartiers résidentiels nouveaux mis à la disposition de tous les niveaux de revenus de la population ;
- construire de nouveaux quartiers en respectant les espaces verts, indispensables à la vie des habitants ;
- réserver tous les espaces nécessaires à la fonction intellectuelle et physique que toute métropole doit avoir ;
- répartir au mieux des intérêts locaux les services administratifs ;
- créer dans ces aménagements tous les services désirables, prolongement des habitations, afin de poursuivre la décentralisation de la cité ;
- utiliser les cheminements traditionnels réservés aux piétons.

Le quatrième plan d'aménagement du 7 février 1979 a été très important car il projetait une zone industrielle facilement accessible aux transports, loin des quartiers résidentiels, afin d'augmenter le cadre de vie. 107,5 hectares furent ajoutés, la ville comptant alors près de 995 hectares.

Le cinquième plan d'aménagement, réalisé le 28 avril 1979, a dessiné un troisième grand boulevard principal (boulevard du 8 Mars), parallèle aux deux anciens (Althourah et Alkornish Alsharke), ajoutant 28,5 hectares.

Le sixième plan d'aménagement, du 17 septembre 1981, a ajouté l'hôpital militaire de la ville, le grand marché de fruits et légumes et un nouveau grand cimetière.

Pour le septième plan d'aménagement, du 16 juillet 1985, le quartier d'Altaliaa et le grand quartier pour les militaires (Dahiet Alassad) furent implantés, ajoutant 161 hectares. La surface totale de la ville était désormais de 1 209 hectares.

Le huitième plan d'aménagement, du 2 mai 1988, a concerné toute la côte : la corniche fut prolongée vers la mer de 150 mètres et vers le sud de la ville. Avec 35 hectares de plus, la surface totale de la ville était alors de 1 244 hectares.

Le neuvième plan d'aménagement, du 26 septembre 1990, a développé le quartier Alfadel pour son attrait touristique. Toutefois, les chalets à côté de la mer ne furent jamais livrés. Avec 19 hectares supplémentaires, la ville atteignit 1 263 hectares.

Le plan directeur de 1991 marque un tournant, car il y a un changement d'échelle. Les autorités passèrent de l'ajout d'un quartier à un véritable document d'orientation au niveau de toute la ville.

En effet, la municipalité de Tartous et le ministère du Logement et des Équipements publics ont missionné une étude complète afin d'établir un plan directeur pour les vingt ans à venir à l'Établissement public des études et des conseils techniques. M. Alabas, responsable de cette étude, et son équipe technique ont commencé à établir une étude démographique et économique de la ville à partir de bases des données réelles. Ils ont pris en compte la situation de l'armature urbaine et des flux migratoires au niveau de la région afin d'en tirer des conséquences en termes de logements, d'emplois, d'infrastructures et de superstructures. Dans ce cadre, ils projetèrent l'extension de la zone industrielle de 64,7 hectares. La création d'espaces verts dans la ville fut un élément de ce plan directeur. Ainsi, chaque nouvelle zone devait en intégrer.

Cette étude a été livrée en 1994, et actualisée en 2002. Elle fut la base des réflexions des plans d'aménagement de 2006 et de 2008.

Le dixième plan d'aménagement est la plus grande extension de l'histoire de la ville. Le 4 mars 1992, 513 hectares furent ajoutés à Tartous, sont la zone côtière au sud de la ville appelé *Amreet*, dont la surface couvrait désormais 1 776 hectares. L'importance de ce plan tient à des éléments essentiels pour la vi(ll)e maritime, avec des répercussions au niveau touristique.

Le onzième plan d'aménagement, du 9 juin 2005, a consacré 65 hectares à l'université.

Le douzième plan d'aménagement, du 30 avril 2006, a ajouté 336 hectares, consacrés à l'habitat, à des équipements sportifs, à un marché de fruits et légumes et à un vaste espace vert.

Le treizième plan d'aménagement, du 7 septembre 2008, a annexé 395 hectares afin de légaliser le plus grand quartier illégal[45] (Alradar). À cette date, la ville de Tartous couvrait 2 572 hectares

Le quatorzième plan d'aménagement, du 15 septembre 2009, a modifié la partie ouest de la corniche vers la mer. Avec ce dernier plan, la ville couvre désormais 2 584 hectares, soit 25,84 km^2. À titre d'information, la superficie de Paris est de 105 km^2.

Le tableau ci-dessous (2.1) est une synthèse de l'évolution de la superficie de la ville.

[45] A Tartous, il y en a plusieurs quartiers illégaux, nous citons : Alradar, Abou Afsa, Wadi Alshater, etc.

Tableau 2.1 : Les plans successifs d'aménagement de Tartous

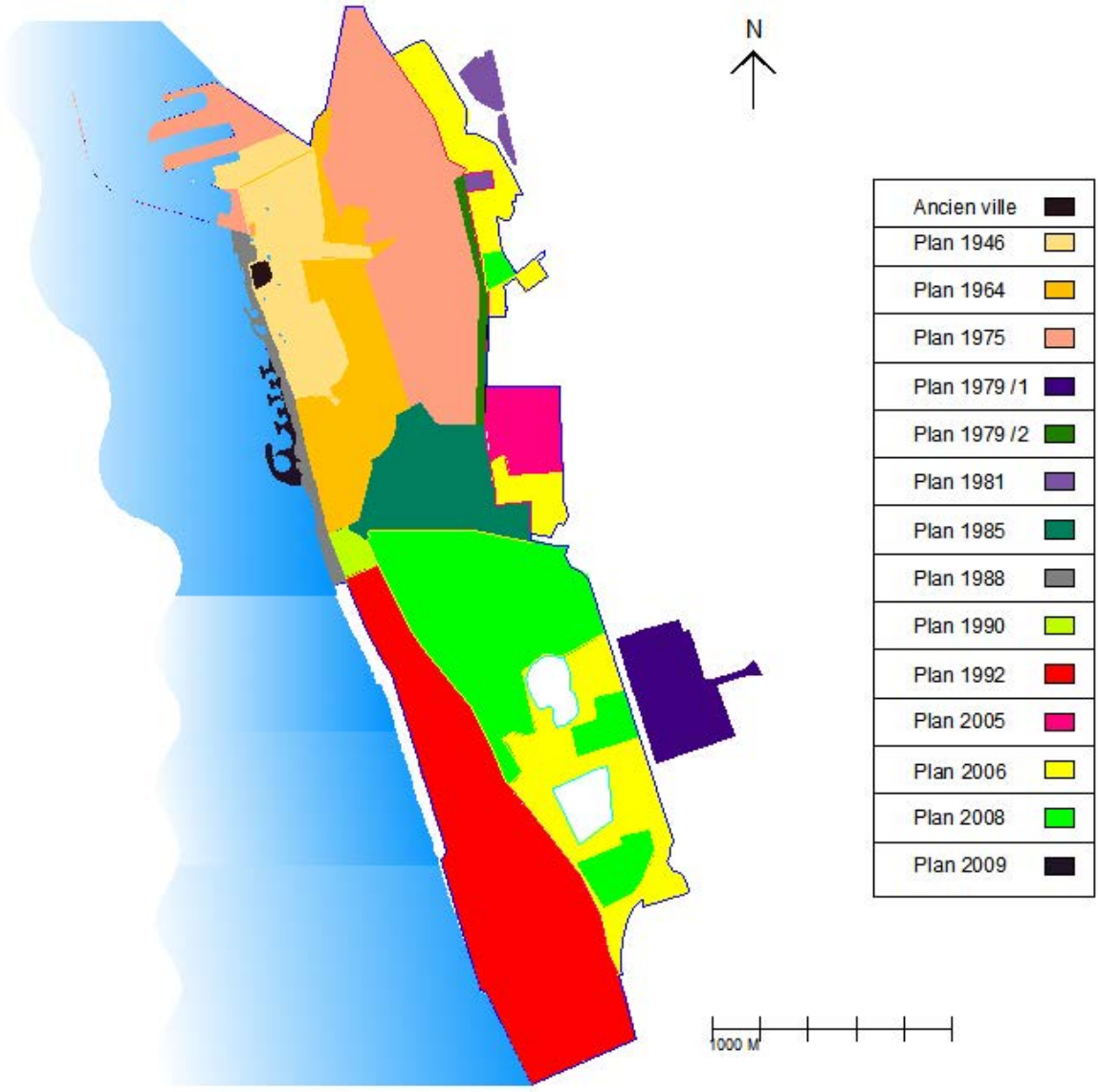
Plan	Décret	N°	Date	Surface ajoutée (ha)	Surface totale	Élément ajoute	Type de construction
1	Décret présidentiel	247	6246/6/72	722	722	Premier plan	Mixte
2	Décret ministériel	277	6264/4/72	621	121	Alkornech Alsharkki	Résidentiel
3	Décret ministériel	262	6222/4/66	224	222	Almashroo Alsadess	Résidentiel
4	Décret ministériel	624	6222/2/7	62202	22402	Zone industrielle	Industriel
5	Décret ministériel	667	6222/4/72	7202	6271	Boulevard 8 mars	Résidentiel
6	Décret présidentiel	6224	6226/2/62	72	6242	Hôpital militaire, Souk Alhal, cimetière	Tertiaire et commercial
7	Décret ministériel	6246	6222/2/66	666	722 6	Quartier Altalea, Dahyat Alassad	Résidentiel
8	Décret ministériel	266	6222/2/7	12	744 6	La côte maritime	Touristique
9	Décret ministériel	7127	6222/2/76	62	6761	Dahyat Alfadel	Touristique
10	Décret ministériel	721	6227/1/4	261	226 6	Amreet	Touristique
11	Décret ministériel	6262	7222/6/2	62	6246	Université	Tertiaire
12	Décret ministériel	6626	7226/4/12	116	7622	Extension	Résidentiel
13	décret ministériel	6624	7222/2/2	122	227 7	Quartier Alradar	Résidentiel
14	décret ministériel	6222	7222/2/62	67	224 7	Nouvelle corniche	Touristique

Source : M. Salama, 2012.

Nous avons tracé ces extensions urbaines sur une carte (2-5) afin d'illustrer les évolutions de la ville.

Comme on le voit, en 60 ans, la surface de la ville a été multipliée par 13, tandis que la population a été multipliée par 11 en 50 ans. Nous développerons l'aspect démographique dans la prochaine section.

Carte 2-5 : Extension urbaine de la ville de Tartous selon les plans d'aménagement



Source : M. Salama, 2012.

L'analyse des plans d'aménagement de la ville de Tartous nous renseigne sur l'influence de l'État dans l'urbanisme opérationnel. En effet, le tableau 7 montre que les plans d'aménagement sont des décisions politiques prises par décret présidentiel ou ministériel, qui affectent tantôt des fonctions d'habitat, tantôt des zones d'activités.

Si la localisation de la zone industrielle est nécessaire pour le développement économique de la ville, son emplacement loin des zones d'habitat est positif en termes de santé publique, mais négatif en termes de dépenses énergétiques. Par contre, la décision de concentrer les services et les équipements publics de la ville dans le centre-ville augmente la dépense énergétique dans la mesure où l'ensemble des habitants doit se rendre dans le centre administratif situé à côté de l'ancienne ville.

Les extensions urbaines consacrées à l'habitat résidentiel sont un poids lourd dans le plan urbain, et représentent 67 % de la surface totale de la ville. C'est la raison qui incite à étudier l'impact de l'habitat résidentiel en matière énergétique.

Les enjeux urbanistiques de Tartous sont inhérents à plusieurs facteurs et se rapportent, entre autres, aux différents plans d'aménagement qui n'ont pas atteint leurs objectifs.

En guise d'exemple, le troisième plan d'aménagement urbain de 1975 avait préconisé la mise en œuvre de structures urbaines et industrielles avec le projet phare d'un grand port et du nouveau grand quartier d'Almasroo Alsades. Le fait que ce plan n'ait atteint ses objectifs qu'en 2009 a eu des répercussions sur la mise en œuvre des autres projets, prévus dans les plans qui ont suivi.

Pourtant, cet échec a engendré un effet d'aubaine. En effet, du fait que beaucoup de projets sont désormais à matérialiser, il y a des gains énergétiques à réaliser avec les innovations actuelles dans le domaine du bâtiment.

Avant d'entrer dans l'analyse fine de l'état énergétique, nous allons présenter une analyse démographique de la ville de Tartous afin de donner une dimension humaine à l'évolution urbaine. Nous souhaitons mettre en relief les modes de vie et l'évolution des mœurs dans le cadre des pratiques énergétiques.

2.2. Évolution démographique

Le processus d'urbanisation est un phénomène inéluctable qui échappe complètement au contrôle des pouvoirs publics dans la plupart des villes du monde. Une explosion incontrôlable due à la croissance naturelle et à l'exode rural s'est déclenchée dans les pays en voie de développement depuis trois décennies. Le taux de la croissance démographique des pays en voie de développement oscille entre 2,5 et 3 % par an, et le taux annuel de croissance urbaine a doublé, atteignant 5 % en moyenne[46].

Ces nouvelles masses de population se trouvent contraintes de créer elles-mêmes leurs habitats, donnant ainsi naissance à des quartiers illégaux non viabilisés qui ceinturent les zones périphériques des villes. Peu importe le diagnostic de performance énergétique (DPE) quand le premier objectif est de se loger. Mais ce problème ne concerne pas uniquement la périphérie ou les nouveaux arrivants. Cet état de fait se constate dans toute la ville. Tartous en est une formidable illustration.

En Syrie, la croissance démographique, dans les années soixante, était élevée, avec un taux de croissance compris entre 4,2 et 6,4 %. Cette croissance s'est ralentie dans les années 1970-1980 (2,6-4,4 %) suite à l'augmentation des prix de l'immobilier et la chute des offres d'emploi[47].

Le tableau ci-dessous montre la part de l'accroissement naturel et de l'exode rural dans la croissance des villes syriennes.

Tableau 2.2 : Décomposition de l'accroissement urbain en Syrie[48]

	1950-1960	**1960-1970**
Effectif des immigrés en ville	105 228	256 257
Taux d'accroissement intercensitaire des urbains	3,6 %	4,4 %
Taux d'accroissement naturel des urbains	2,9 %	3,3 %
Taux d'immigration net (exode rural)	0,7 %	1,1 %

[46] S. Sakkal, *L'Habitat non réglementaire périurbain à Alep-Syrie*, thèse de doctorat, Institut d'urbanisme de Paris, 1985, 350p.

[47] L. SAMMAN, *La Population de la Syrie, étude géodémographique, Université de paris 1.Panthéon-Sorbonne*,1976, 300p, p. 12.

[48] L. SAMMAN, *La Population de la Syrie, étude géodémographique, Université de paris 1.Panthéon-Sorbonne*,1976, 300p, p. 12.

Les statistiques nationales montrent que la croissance, dans l'agglomération de Tartous, a été stable dans les années soixante-dix et quatre-vingt, avec un taux de 4,4 %. Ce chiffre montre que l'agglomération de Tartous a absorbé l'exode rural de sa région. Plusieurs facteurs l'expliquent. Au niveau économique, la forte offre d'emplois, due à la présence du port et des activités touristiques, commerciales et de transport, a été un motif d'attraction. Au niveau social, les conditions de vie moderne ont aussi été un élément d'attractivité.

Comme l'illustre le tableau 2.3, le taux d'urbanisation dans l'agglomération de Tartous (qui compte six villes) est de 22 % dans les années soixante-dix et de 26 % dans les années quatre-vingt-dix.

Tableau 2.3 : Croissance démographique de la Muhafazat Tartous (agglomération) 1970-1994

	Nombre d'habitants 1970	Nombre d'habitants 1981	Taux de croissance entre 1970 et 1980	Nombre d'habitants 1994	Taux de croissance entre 1981 et 1994
Urbain	55 540	89 328	4,405 %	153 173	4,235 %
Rural	193 834	283 866	3,529 %	434 341	3,326 %
Total	249 374	373 194	3,733 %	587 514	3,552
Pourcentage					
Urbain	22,3 %	23,936 %		26,071 %	
Rural	77,728 %	76,064 %		73,929 %	

Source : Bureau de la statistique nationale,2000.

La démographie de la ville montre que celle-ci a été une petite ville. En effet, elle a compté près de 2 000 habitants au début du XXe siècle, avec une évolution démographique significative vers la fin du siècle.

Tartous présente ainsi une croissance démographique exponentielle, qui est phénoménale depuis les années soixante, posant des problèmes urbains de logements, de construction de bâtiments et surtout énergétiques. Cette croissance est mise en évidence par les chiffres suivants.

Tableau 2.4 : Évolution de la population de Tartous[49]

Année	1960	1980	1990	2000	2010
Habitants	15 000	52 589	89 219	114 990	167 787

Nous pouvons remarquer que de 1960 à 2010, la population de la ville de Tartous a connu une croissance de près de 1 020 %. Cette croissance impose à la ville des défis à relever en matière de construction de bâtiments qu'il faut réhabiliter, d'urbanisation à améliorer et de gestion énergétique, qui appelle à une transition.

Après avoir dressé un constat démographique, la réflexion impose un constat sur l'énergie dépensée dans cette agglomération. L'analyse démographique a permis de soulever la question de la réhabilitation. Mais étant donné que le bâti actuel ne correspond pas à la demande de logement, encore moins à la croissance de l'offre, il est plus important de

[49] Bureau de la statistique nationale, 2010.

s'intéresser dès à présent au bâti qui accueillera l'essentiel d'un explosion démographique. Ce sera le sujet d'une section ultérieure.

Dans la section suivante, nous allons évoquer le contexte énergétique de Tartous en nous focalisant sur l'électricité, car l'impact de la croissance démographique sur la ville a eu comme conséquence l'élévation de la consommation en énergie. Cette augmentation pourrait alors être réduite grâce à des bâtiments dotés de bonnes performances énergétiques.

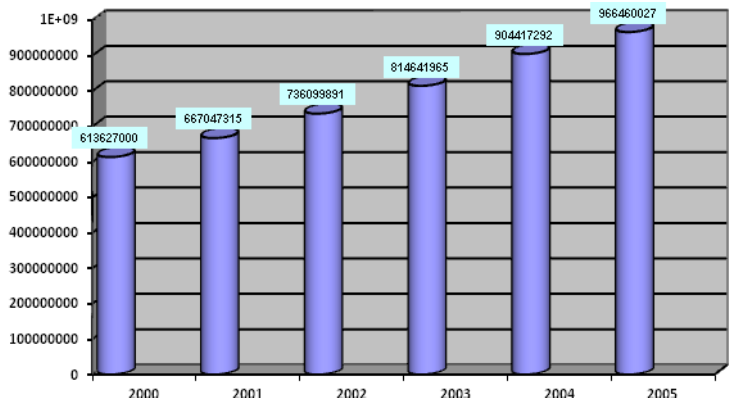
3. Contexte énergétique à Tartous

La politique énergétique en Syrie est déterminée par une administration générale centralisée. Le système de gestion de l'énergie à Tartous est modelé sur le système national, avec des établissements de distribution (électricité, produits fossiles, etc.). Les bâtiments reçoivent l'électricité de l'Établissement public de l'électricité après avoir signé un abonnement en fonction de l'utilisation (résidentielle, commerciale, industrielle, etc.) qu'ils en ont. Notons que le réseau public de l'électricité distribue mais ne peut pas recevoir de l'électricité produite localement par les ménages (photovoltaïque, mini-éolien, etc.).

3.1. L'électricité consommée à Tartous

À Tartous, selon les chiffres officiels de l'Établissement public de l'électricité de Tartous, la demande en l'électricité est en hausse chaque année. Dans la figure (2.5) ci-dessous, l'évolution est décrite pour les années 2000 à 2005.

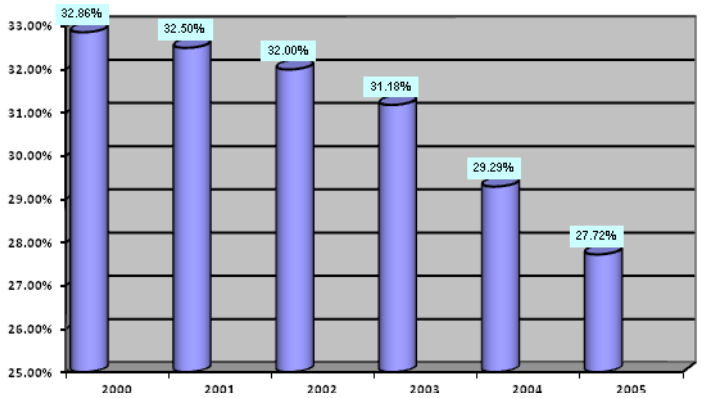
Figure 2.5 : Demande en l'électricité entre 2000 et 2005 à Tartous en Wh[50]



La hausse de la demande d'électricité annuelle est de 7 à 8 %, alors que la croissance démographique annuelle est de 2,4 %. Toutefois, les ménages ne sont pas les seuls responsables de cette hausse. En effet, une partie de cette hausse provient de la vétusté du parc des équipements de distribution électrique. Malgré la maintenance courante du réseau de distribution, la perte reste toujours importante, tant au niveau national (la somme des pertes en énergie produite, y compris la consommation de la production, est de 14 798 MWh, soit 34 %) qu'au niveau local (avec l'exemple de la ville de Tartous, où le pourcentage de perte était de 27,7 % pour l'année 2005).

[50] *L'Établissement public de l'électricité de Tartous*, Chiffres officiels, Tartous, 2009.

Figure 2.6 : Pourcentage de perte en électricité à Tartous entre 2000 et 2005[51]



3.2. Le prix de l'énergie

Les tarifs de l'électricité en Syrie sont subventionnés par l'État, particulièrement dans le secteur résidentiel. L'Établissement public de l'électricité en Syrie produit l'électricité et la distribue aux habitants. La structure publique de fourniture d'électricité est déficitaire. Le tableau 2.5 montre les tarifs de l'électricité par tranche de consommation. On peut constater que plus la consommation est élevée, plus le prix unitaire du kWh est onéreux.

Tableau 2.5 : Tarifs de l'électricité dans le secteur résidentiel en Syrie. 2012

kWh/mois	**0-100**	**101-200**	**201-400**	**401-600**	**601-800**	**801-1 000**	**1 001-2 000**	**>2 000**
Prix du kWh en livre syrienne	0,25	0,35	0,5	0,75	2	3	3,5	7

Source : Établissement public de l'électricité de la Syrie.

Les produits pétroliers sont aussi subventionnés par l'État. Ainsi, le prix du litre d'essence est de 80 livres syriennes (L.S.) et le prix d'un litre de gasoil est de 35 L.S. Un euro est égal à 60 livres syriennes (parité 2011/2012, avant la guerre).

Après l'analyse spatiale et démographique ainsi que le constat énergétique, nous abordons à présent un champ d'analyse sur l'ingénierie de la construction.

4. L'offre et la demande de logement, entre production et distribution

L'état du niveau de l'offre et de la demande de logement et son accessibilité permettent d'éclairer la question énergétique en abordant les investissements réalisés pour la construction auxquels seront ajoutés les investissements pour la transition énergétique. En précisant les acteurs du domaine, nous pourrons identifier le système d'acteurs capable de mettre en œuvre la transition énergétique dans le domaine de la construction : Acteurs publics ? Acteurs privés ? La solution est peut-être dans la coopération des deux…

[51] *Ibid.*

4.1. La question immobilière à Tartous

Le phénomène de bidonvilisation se réfère souvent à la crise du logement. Dans le cas de Tartous, la situation est différente : la crise du logement n'est pas due à un manque d'offres de construction, mais au fait que cette offre est inaccessible aux catégories à faible revenu.

L'activité foncière et immobilière est souvent l'un des moyens de prélever une masse importante de l'épargne sociale. Cette procédure est d'autant plus utilisée par des personnes croyantes que l'Islam interdit l'usure et les spéculations banquières. C'est donc un dispositif qui permet de s'enrichir en conformité avec la religion. Cela rejoint un peu la théorie de Max Weber sur « l'éthique protestante et l'esprit du capitalisme ».

En réalité, en Syrie, la spéculation foncière constitue l'une des données fondamentales qui gèrent l'urbanisation en général et les prix des logements en particulier.

Quelle est la définition de la crise à Tartous ? Peut-on considérer la crise du logement comme l'un des éléments générateurs de la dépense énergique dans le secteur du bâtiment dans la mesure où les bidonvilles constituent une passoire énergétique ?

Le dépouillement des premiers résultats du recensement général de 2009, en ce qui concerne l'habitat à Tartous, révèle la situation suivante : Il est recensé 81 767 logements dans la ville « non rurale » et 8 782 logements en construction ou en dépôt de permis de construction ; 15 % de ces logements sont vacants et donc disponibles, soit 12 265 logements.

Cette vacance s'explique a les raisons suivantes. La spéculation immobilière incite les investisseurs à diriger leurs capitaux dans l'achat de maisons qu'ils gardent un certain temps avant de les revendre à un prix très élevé afin de réaliser une plus-value conséquente. L'émigration provisoire dans les pays du Golfe crée un système où les migrants achètent un logement en prévision de leur retour. L'achat d'un logement et sa conservation sont l'un des procédés efficaces pour lutter contre l'inflation ; l'augmentation de prix d'un logement est plus élevée que le taux de l'inflation.

Du point de vue économique et social, le recensement n'a pas révélé de chiffre concernant le pourcentage des ménages qui vivaient dans des logements d'une seule pièce et dans des conditions d'hygiène et d'inconfort sordides. Le pourcentage des ménages insolvables n'est pas non plus connu.

En revanche, à Tartous, le recensement relève une densité moyenne d'occupation des logements de 5,6 personnes, avec 3,4 pièces en moyenne par logement et 1,2 personne en moyenne par pièce.

La crise du logement a commencé en Syrie vers les années soixante-dix. En effet, avant cette date, les promoteurs privés étaient les seuls à assurer la construction. Agissant seuls sur les terrains à bâtir, ils investissaient au maximum en jouant au niveau de la structure foncière. Ce découpage parcellaire a créé un dispositif de rentabilité foncière qui a faussé la valeur des terrains et celle des logements, car le prix des terrains a beaucoup augmenté – ils ont parfois été multipliés par dix entre 1970 et 1980 –, entraînant une forte hausse au niveau du coût du logement.

Par ailleurs, la lente ouverture à urbanisation de terrains limitrophes à la ville a conduit à une situation où les terrains à bâtir compris dans les plans d'aménagement ont vu flamber leur prix car ils devenaient rares. Par exemple, la maison qui coûtait 30 000 L.S. en 1974 coûtait 100 000 L.S. en 1977. Ce processus a perduré dans le temps, puisqu'en 2005, une maison qui coûtait 1 000 000 L.S. coûtait 3 000 000 L.S. en 2008.

Devant cette situation, et encouragées par l'État, des associations coopératives se sont créées à partir de 1972. L'objectif était d'assurer à leurs adhérents des logements au prix de revient.

Cela a pu se faire dans un premier temps. Mais dès que ces associations ont décidé de confier la construction à des promoteurs, ces derniers ont prélevé 30 % des gains. Il ne leur était alors plus possible d'assurer des logements à des prix modérés.

La réaction de l'État à cette situation foncière fut de créer un ministère du Logement en 1974. Ce ministère, représenté par l'Établissement public du logement (EPL), devait s'occuper initialement de tout ce qui concernait le logement en Syrie. Dans les faits, l'EPL n'a opéré qu'à Damas, la capitale. De même, l'État n'a pas mis en œuvre ni respecté les plans quinquennaux en matière de logement, car la situation financière du pays ne pouvait permettre à l'État de grands investissements dans le logement.

Par ailleurs, les initiatives communes de la municipalité et de l'Établissement public du logement, concernant les logements populaires à Tartous, ont commencé en retard. En 2005, débutait la construction de logements pour les jeunes appelés « les résidences des jeunes » – ils sont toujours en construction en 2014. La guerre en Syrie, la spéculation foncière, la hausse des prix des matériaux de construction et la main-d'œuvre qu'on ne trouve plus peuvent expliquer cette situation.

Nous pouvons définir la constitution du prix d'un logement. Le prix est dû à plusieurs facteurs :

Le premier est le prix du terrain. Dans les années 1930-1940, durant le mandat français, une dizaine de personnes ont acheté la plupart des terrains d'extension de la ville. Dans les années soixante, ces propriétaires ont commencé à lotir successivement leurs terrains en profitant du manque de terrains à bâtir en ville et en distillant au compte-gouttes leur foncier.

Côté administratif, toujours dans les années soixante, la municipalité devait ouvrir à l'urbanisation de nouvelles zones. Mais elle fut confrontée à plusieurs problèmes. D'une part, les terrains publics étaient insuffisants en nombre, car ils ne représentaient que 25 % de l'ensemble des terrains constructibles. De plus l'ensemble de ces terrains n'étaient pas ouverts. Dans les 75 % des terrains restants, bon nombre de propriétaires ne souhaitaient pas vendre leur terrain, misant sur une crise foncière à venir afin de réaliser une plus-value encore plus importante.

En 1979, l'État, conscient de la nécessité de limiter la spéculation foncière, a promulgué une nouvelle loi foncière (loi n° 60). Cette loi aurait été réellement efficace en raison de la possibilité d'un droit d'expropriation donné aux collectivités locales. Cette loi a été peu suivie, les lotissements clandestins ont continué à augmenter, ainsi que les prix des terrains en ville. La spéculation foncière n'a pas diminué pour autant, et a même trouvé un autre champ d'action avec celui des rénovations ; des immeubles anciens ont été rasés, faisant place à de nouvelles constructions vendues plus cher.

Le tableau 2.6 montre l'augmentation du prix au mètre carré pour l'habitat entre 1995-2000 et 2005-2009. Cette augmentation est due à l'augmentation du prix des terrains, à la hausse des prix des matériaux de construction, ainsi qu'à l'augmentation du coût de la main-d'œuvre.

Tableau 2.6 : Augmentation du prix des terrains entre 1995 et 2009

ANNEE	1995	2000	2005	2009
Secteur privé / habitat luxe	8 113 L.S. / m^2	7 143 L.S. / m^2	8 941 L.S. / m^2	12 631 L.S. / m^2
Secteur privé / habitat populaire	5 060 L.S. / m^2	5 086 L.S. / m^2	6 613 L.S. / m^2	9 471 L.S. / m^2
Secteur public	6 221 L.S. / m^2	5 483 L.S. / m^2	6 121 L.S. / m^2	9 598 L.S. / m^2

Source : Bureau de la statistique nationale, 2010.

L'achat des matériaux de construction en Syrie s'effectue auprès de l'Organisme public des métaux et de matériaux de construction (OMRAN) après présentation d'un permis de construire. Il fallait souvent attendre plusieurs mois avant d'obtenir ces matériaux. Ces délais ont encouragé les promoteurs à acheter leurs matériaux au marché noir en les payant presque le double, car les répercussions sur les temps de livraison des logements immobilisaient leurs capitaux pendant des mois. Depuis peu, le secteur privé est autorisé à la vente de matériaux de construction.

Entre 2000 et 2012, l'augmentation du prix des matériaux de construction auprès du secteur public a doublé. Le tableau suivant montre cette augmentation. Voir tableau 2.7.

Tableau 2.7 : Augmentation du prix des matériaux de construction entre 2000 et 2012

ANNEE	2000	2005	2010	2012
Ciment	4 200 L.S./m^3	6 500 L.S./m^3	7 500 L.S./m^3	10 000 L.S./m^3
Fer	15 000 L.S./tonne	26 000 L.S./tonne	34 000 L.S./tonne	55 000 L.S./tonne

Source : M. Salama, 2012.

L'augmentation du coût de la main-d'œuvre depuis une dizaine d'années n'a fait qu'aggraver la situation. La cause principale était la rareté de la main-d'œuvre qui tend à partir à l'étranger notamment dans les pays du Golfe ou elle est mieux payée. En effet, il est impossible à un ouvrier d'être propriétaire sans une aide du pouvoir public.

Le tableau suivant révèle l'augmentation du prix de vente entre 2000 et 2011, selon la localisation en ville ou en périphérie.

Tableau 2.8 : Augmentation du prix de vente du mètre carré entre 2000 et 2011

ANNEE	2000	2003	2006	2008	2011
Prix de vente au m² bâti en L.S./ville	8 000	10 000	20 000	30 000	35 000
Prix de vente au m² bâti en L.S./périphérie	5 000	6 000	8 000	14 000	16 000

Source : M. Salama, 2012.

Une analyse du prix d'achat d'un mètre carré bâti dans un quartier de périphérie montre que le mètre carré revient à 16 000 L.S. répartis comme suit :

- 6 000 L.S./m² : coût de la construction (matériaux de construction + main-d'œuvre) ;
- 4 000 L.S./m² : coût du terrain ;
- 6 000 L.S./m² : gain du promoteur.

Dans la constitution du prix du terrain, les bénéfices des promoteurs sont essentiellement responsables de la montée des prix.

Pour finir, nous présentons dans le tableau 2.9 la répartition des permis de construction par usage. Nous voyons nettement l'importance du secteur résidentiel face aux autres usages.

Tableau 2.9 : Permis de construction délivré par les secteurs privé et « coopératif » à Tartous, 2009

Année 2009			Total
Immeubles industriels	Surfaces totales par 1 000 m^2		9,4
	Nombre des usines		41
	Nombre de permis		41
Immeubles commerciaux	Surface totale par 1 000 m^2		48,1
	Nombre des boutiques et bureaux		756
	Nombre de permis		236
Immeubles mixtes commerciaux et résidentiels	Surface bâtie en m^2	Total des surfaces	236,7
		Commerciales	64,7
		Résidentielles	172,3
	Boutiques, bureaux		1 530
	Nombre de pièces		4 712
	Nombre d'unités d'habitation		1 397
	Nombre de permis		351
Immeubles résidentiels	Surface bâtie en 1 000 m^2		1 077,7
	Nombre de pièces		29 298
	Nombre d'unités d'habitation		8 782
	Nombre de permis		3 790

Source : Bureau de la statistique nationale, 2010.

Nous observons, dans le tableau 2.9, que la surface totale des immeubles résidentiels qui ont leur permis de construire est de 1 250*$10^3 m^2$, contre 9,4*$10^3 m^2$ pour les immeubles industriels et 112,5*$10^3 m^2$ pour les immeubles commerciaux. Ces chiffres montrent l'importance des immeubles résidentiels neufs, du fait de la forte demande en logements dans la ville.

Le tableau suivant montre le coût des logements du secteur privé, du secteur public et du secteur coopératif (mixte public/privé).

Tableau 2.10 : Coût des logements des secteurs privé, public et coopératif (mixte public/privé)

Bâti résidentiel du secteur public			Bâti résidentiel du secteur privé			
Frais des études et des administrations	Finition normale	Structurel	Frais des études et des administrations	Finition		Structurel
				Normale	Bien	
450	4 861	4 287	278	5 710	8 870	3 483

Source : Bureau de la statistique nationale, 2010.

À la lecture du tableau, nous pouvons constater que le coût des mètres carrés dans le secteur public est de 4 287 + 4 861 + 450 = 9 598 L.S./m².

Le coût des mètres carrés dans le secteur privé est de 3 483 + 5 710 + 278 = 9 471 L.S./m².

Ainsi, le coût est moins élevé dans le secteur privé que dans le secteur public. De plus, le secteur privé est plus rapide et répond mieux aux besoins des clients. La livraison des bâtiments du secteur public est très longue et les matériaux utilisés sont d'une qualité médiocre et grands consommateurs en énergie.

Le secteur privé, malgré son dynamisme, n'est pas parfait pour répondre à la crise du logement. En effet, les promoteurs ne visent en réalité que leurs intérêts. Les constructions réalisées couvrent une partie des besoins en logement en négligeant le niveau de dépense énergétique.

4.2. Les matériaux et les techniques de construction

Les matériaux de construction utilisés à Tartous sont souvent les mêmes que dans les autres secteurs (résidentiel, commercial, tertiaire). Les techniques utilisées restent les mêmes sauf dans le cas des grands projets dits « nationaux ».

Nous décrivons ci-après la technique utilisée (traditionnelle) et ses composantes de construction. Le tableau 2.11 sera un récapitulatif de l'ensemble de ces systèmes de construction, avec une comparaison entre les constructions neuves et anciennes.

La structure des immeubles est appelée « système poteaux-poutre », qui a pour spécificité d'utiliser des voiles en béton armé dans les tours, sachant que les éléments structurels sont coulés sur place, contrairement à ce qui se fait en France, où ces derniers sont souvent fabriqués en usine.

Il y a plusieurs types de murs. Nous dressons une typologie des éléments structurels car nous reviendrons sur chacun de ces éléments afin d'établir un constat quand aux techniques de construction les plus utilisées à Tartous, l'objectif étant d'établir une typologie de référence.

Les murs extérieurs en béton armé font 20 cm d'épaisseur dans les nouveaux bâtiments.

Les murs extérieurs, en parpaing creux ou en brique cuite, font 15 à 20 cm d'épaisseur, avec un enduit ciment deux couches de 2 à 3 cm à l'intérieur et à l'extérieur.

Il faut savoir que la municipalité oblige à mettre une couche de pierre naturelle de 3 à 6 cm sur les façades pour une raison esthétique, mais, dans la pratique, les constructeurs n'appliquent cette règle que sur la façade principale.

Dans la majorité des cas, les immeubles ne sont pas isolés, sauf exception où les constructeurs appliquent un nouveau système pour les parois extérieures en mettant une paroi

double. Cette dernière est constituée de deux couches de parpaing de 10 cm, avec un vide de 5 cm entre les deux, et d'un enduit ciment des deux côtés de la paroi afin d'améliorer l'isolation.

Concernant les murs intérieurs, ils sont de plusieurs types. Il y a les murs intérieurs de séparation des appartements, faits de parpaings ou de briques cuites de 20 cm pour mieux isoler, avec un enduit ciment des deux côtés. Il y a les murs dits « de cloison », qui séparent les pièces des appartements, faits de parpaings ou de briques cuites de 10 cm avec un enduit ciment des deux côtés.

Au niveau des planchers, il existe deux systèmes de construction traditionnelle.

Le plancher hourdi est fait de poutrelles en béton armé placées entre des lignes d'agglomérés avec une dalle de compression pour répartir les charges. L'épaisseur totale est de 25 à 30 cm.

Le plancher en béton armé est d'une épaisseur de 15 à 20 cm. Cette technique, vieille d'une trentaine d'années, est de moins en moins utilisée.

Le revêtement de sol le plus utilisé est la pierre de marbre naturelle de couleur claire, d'épaisseur de 2 à 3 cm, ou le granit industriel, d'épaisseur de 0,5 à 1 cm, avec une couche de sable de 3 cm.

Aucune isolation n'existe dans les planchers intermédiaires.

Il existe une épaisseur de granulat de 20 cm au-dessous du plancher bas, en contact direct avec la dalle, qui fait office de finition mais en aucun cas d'isolation.

Souvent, le sous-sol représente 20 % de la surface totale de la dalle de l'immeuble. Il est rendu obligatoire par la municipalité, car sa fonction est affectée à un espace de protection en cas de guerre.

Les balcons sont construits sur le système des planchers, et aucune mesure thermique n'est prise en considération.

Les menuiseries, pour les bâtiments récents, sont généralement en aluminium en extérieur, pour les salles de bains et les portes-fenêtres. En intérieur, le reste des menuiseries est en bois.

Dans les bâtiments anciens, toutes les menuiseries sont faites de bois ou d'acier. En général, les menuiseries extérieures sont posées directement sur un cadre en marbre ; à l'intérieur, les menuiseries sont posées sur un cadre en bois.

La main-d'œuvre est souvent peu qualifiée. La pose des menuiseries est alors la source d'une déperdition thermique importante contribuant à une baisse générale de l'étanchéité de l'immeuble.

Les volets, dans les bâtiments récents, sont en aluminium avec un système roulant. Les volets à double battant en bois, dits « abat-jour », sont dans les bâtiments anciens, mais ce système est presque abandonné en raison de son coût élevé.

La toiture est un système en plancher intermédiaire, avec un renforcement pour porter les réservoirs d'eau. Elle est souvent non isolée ou isolée par une couche simple d'asphalte, qui ne protège pas bien, induisant des problèmes d'isolation thermique et d'humidité.

Le chauffage traditionnel est le poêle à gasoil ou à gaz. Dans les résidences, le chauffage central n'existe quasiment pas. Un poêle central est installé dans le salon et des radiateurs électriques complètent le système de chauffage.

Les appareils de climatisation sont souvent des *splits* (pompes à chaleur). Une unité intérieure est généralement installée dans le salon, et le compresseur est attaché au mur extérieur ou sur le balcon.

Tableau 2.11 : Répartition des matériaux de construction selon leur système d'utilisation

Matériaux/Système	Application traditionnelle	Application moderne
Mur extérieur en rocher/béton	Pierre de rocher de sable de 40 à 60 cm, non isolées	Béton armé de 20 cm avec une pierre naturelle à l'extérieur de 3 à 6 cm. Souvent non isolé
Mur extérieur en parpaing	Parpaing de 20 cm + enduit de ciment, non isolé	Deux parpaings de 10 cm avec vide de 5 cm et enduit, non isolé
Mur intérieur simple	Parpaing de 10 cm + enduit de ciment, non isolé	Parpaing de 10 cm + enduit de ciment, non isolé
Mur intérieur intermédiaire entre les appartements	Parpaing de 20 cm + enduit de ciment, non isolé	Parpaing de 20 cm + enduit de ciment, non isolé
Plancher intermédiaire	En béton armé de 15 à 20 cm, non isolé	En hourdi et béton, 25 à 30 cm, non isolé
Plancher toiture	En béton armé de 15 à 20 cm, non isolé	En hourdi et béton, 25 à 30 cm, non isolé
Plancher bas en contact avec le sol	En béton armé de 15 à 20 cm, non isolé	En béton armé de 15 à 20 cm, avec décharge de 50 cm, non isolé
Les menuiseries extérieures	Bois ou acier	Aluminium
Les menuiseries intérieures	Bois ou acier	Aluminium ou bois ou PVC
Les volets	Abat-jour en bois	Volet roulant en aluminium
Le chauffage	Poêle au gasoil ou bois avec des unités de chauffage électrique	Poêle au bois
L'appareil de climatisation	Split	-

Source : M. Salama, 2013.

Les matériaux de construction sont souvent d'origine étrangère. À titre d'exemple, le ciment est soit d'origine locale, s'il est acheté par le biais d'un organisme public, soit exporté, s'il est acheté par l'intermédiaire d'un organisme privé.

Une autre illustration est celle du ferraillage de béton armé. Souvent acheté par le biais du privé, il est toujours d'origine étrangère.

4.3. Les règlements syriens pour les constructions

Plusieurs règlements sont appliqués. Le code de calcul des structures en béton armé (1994-2000-2004) avec ses annexes sur les bâtiments parasismiques est l'un des codes obligatoires. Le code des réglementations thermiques de 2008 (code d'isolation thermique pour les constructions) a été rédigé pour réduire la croissance en consommation énergétique (chauffage et climatisation) pour les habitations. Ce code s'appuie sur des normes américain ASHRAE et il a été rédigé au niveau national par le Centre national de la recherche énergétique, en collaboration avec l'université de Damas (génie civil et architecture) ainsi que d'autres établissements publics œuvrant dans le domaine de la construction.

Une étude économique comparative entre un bâtiment isolé et d'autres non isolés fait l'objet de l'annexe D dans le code d'isolation énergétique. Cette étude théorique d'un immeuble situé dans la banlieue de Damas, constitué de quatre étages, avec deux appartements de 130 m² à chaque niveau, prend en compte : l'isolation du bâtiment, le confort d'été sur une base théorique, l'orientation géographique, la durée moyenne d'utilisation du chauffage et la climatisation. Cette étude montre l'aspect économique sur une longue durée (15 ans) de l'usage de matériaux d'isolation, et met en évidence une économie de 50 % de l'énergie consommée dans le chauffage et de 34 % pour l'électricité consommée par la climatisation (code d'isolation thermique en Syrie). Le tableau suivant est une synthèse de cet exemple.

Tableau 2.12 : Influence de l'isolation sur la consommation d'énergie

	Charge thermique hiver Wh	Charge thermique été Wh	Chauffage : Économie en consommation de gasoil	Climatisation : Économie en consommation d'électricité	Économie totale en 15 ans
Bâtiment isolé	**51 935**	**68 285**	**50 %**	**34 %**	**32 %**
Bâtiment non isolé	**103 305**	**103 750**	**-**	**-**	**-**

Source : M. Salama, Code d'isolation thermique en Syrie, 2008.

La norme, en matière d'isolation thermique, est basée sur le règlement américain *ASHRAE Handbook Foundamental* (1981). Dans ce cadre, ce sont plutôt les solutions actives qui sont privilégiées, plutôt que les passives. Pour ce qui est de la norme en matière de climatisation et de chauffage, la référence est basée sur d'autres normes internationales, comme les normes BS EN ISO 10077-1-2000[52], PR EN ISO 10077-2-2000[53], ISO 10077-2-2003, DIN V 4108-4 et BS EN ISO 6946-1997[54].

Dans ce règlement, la température de confort en hiver est de 22 °C, en été de 24 °C – en France, la température de confort en hiver est de 19 °C, en été de 27 °C. Cette différence entre les températures de confort induit un besoin énergétique supplémentaire pour atteindre le seuil de la norme.

[52] BS EN ISO 10077-1-2000(E), Thermal performance of windows, doors and shutters-Calculation of thermal transmittance – Part 1: Simplified methods.

[53] Pr EN ISO 1007-2-2000, Thermal performance of windows, doors and shutters-Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames.

[54] Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance-Calculation Method, Ashrae Handbook Fundamentals, 1981.

Conclusion

L'exposition de l'état des lieux de la ville de Tartous (extension urbaine, évolution démographique, situation de l'électricité, état des constructions) avait pour objectif de justifier une étude énergétique dans le domaine résidentiel. En effet, comme nous l'avons illustré, la part des bâtiments résidentiels collectifs représente 66 % de l'extension urbaine. Malgré un règlement thermique datant de 2008, les constructions neuves tardent à appliquer les dispositions facultatives en matière d'isolation thermique.

Fort de ces constats, nous proposons d'étudier un bâtiment neuf résidentiel. Pour cela, nous allons mettre en place une méthodologie afin de définir des indicateurs dans le domaine énergétique afin de constituer une base de données servant de référentiel. L'objectif de cette démarche est de créer un label énergétique destiné aux bâtiments neufs résidentiels qui soit adapté au contexte local.

Le premier intérêt d'une labellisation énergétique serait son bénéfice pour la Syrie, y compris au niveau économique, puisqu'il permet un révision des procédures de construction.

Le second intérêt est environnemental, à travers la sauvegarde de l'environnement que suscite le recours aux sources énergétiques propres et non polluantes.

Le troisième intérêt est au niveau social, puisque les nouveaux bâtiments certifiés sont un tremplin pour une meilleure qualité de vie.

Le chapitre suivant présentera donc la méthodologie et les enquêtes réalisées en vue de récolter les informations qui serviront de support à la constitution d'une base de données concernant la construction, les systèmes énergétiques, le niveau de confort et les usages des habitants de la ville de Tartous.

Chapitre 3.
La méthodologie générale : enquêtes et données

Dans ce chapitre, nous exposerons les méthodes et les résultats des enquêtes menés sur l'état des constructions à Tartous afin de constater la réalité énergétique par rapport à l'aspect théorique décrit dans le chapitre précédent. Dans une deuxième séquence, l'état de l'art des techniques énergétiques innovantes en Europe sera présenté, afin d'évaluer la possibilité d'un transfert de leurs applications à notre site d'étude.

Afin d'illustrer la situation actuelle des bâtiments résidentiels à Tartous, nous avons réalisé plusieurs enquêtes. En termes de méthode d'enquête, nous avons d'abord réalisé une observation du terrain pour vérifier si l'extension urbaine dans la ville de Tartous, correspondait à la réalité planifiée. Par la suite, nous avons interrogé l'Ordre des ingénieurs de Tartous, car ce sont eux qui approuvent les permis de permis de construire. Ainsi, nous avons étudié en détail les cahiers des charges, les règlements thermiques en application, dans le but de discerner si des considérations énergétiques et thermiques étaient prises en compte dans les bâtiments résidentiels. Pour compléter cette enquête, nous avons visité quatre chantiers en cours d'exécution afin de récolter les informations manquantes dans leurs permis de construction et vérifier la qualité et l'aspect technique des constructions. Des entretiens avec les acteurs de la construction ont été réalisés, afin de vérifier l'application des normes thermiques. Par ailleurs, ces enquêtes avaient aussi pour objectif d'évaluer les connaissances de ces acteurs dans le domaine énergétique.

Ensuite, nous avons effectué une enquête par questionnaire dirigée vers les ménages. Cette enquête concernait le confort thermique, les systèmes énergétiques utilisés (chauffage, climatisation et ECS), le type des appareils électroménagers et le niveau de consommation énergétique.

Nos données sur terrain ont été complétées par une recherche bibliographique en France et en Syrie, ainsi que par la participation à des séminaires universitaires et professionnels sur les aspects énergétiques des bâtiments et des villes durables.

À travers l'état de l'art des techniques innovantes utilisées dans les bâtiments économes en énergie en Europe et dans le monde, complété par notre enquête sur les techniques disponibles sur le marché syrien, nous avons pu sélectionner les solutions transférables sur notre terrain d'étude afin d'obtenir les meilleures améliorations énergétiques possibles dans les bâtiments résidentiels.

1. Observation générale sur l'état de la construction dans les nouveaux bâtiments de Tartous

La première étape consiste à établir la comparaison entre l'extension urbaine de Tartous par rapport aux plans d'aménagement de l'État. Cette enquête s'appuie sur des observations descriptives en matière d'organisation des chantiers de construction, de rôles des acteurs privés et publics, de qualités visuelles des bâtiments résidentiels (hauteur, couleur, revêtement des façades, orientation, etc.) et d'implantation des réseaux d'électricité, d'eau potable et d'assainissement.

L'observation est réalisée à partir de visites sur le terrain de 4 quartiers (deux en centre-ville et deux situés dans les nouvelles extensions de Tartous) et de 4 chantiers de construction, lors desquelles nous avons photographié les bâtiments et l'organisation urbaine. Un tableau d'observation nous a servi afin de noter nos remarques. Ce choix d'observation flottante a été retenu afin de noter sur le vif nos impressions. (Voir annexe 1a)

Pour compléter nos informations, nous avons contacté des ingénieurs attachés à la municipalité de Tartous afin d'obtenir les différents plans d'aménagement de la ville.

En ce qui concerne l'extension urbaine, nous avons observé que les plans d'aménagement étaient appliqués. Les rues, les quartiers, les espaces verts, les immeubles construits ou en cours de construction sont conformes au plan d'aménagement. Quelques irrégularités dans les immeubles d'habitation ont été constatées au niveau des balcons, qui ont été transformés en espaces vitrées habitables.

Pour rappel, les constructeurs ont un délai maximum de 3 ans à partir de la date d'obtention de leur permis de construire pour livrer le bâtiment en état semi-fini. Malgré cette obligation, certains quartiers de Tartous, surtout dans les nouvelles extensions, voient se réaliser des chantiers entiers avec des matériaux de construction sur les trottoirs. Cet empiétement sur l'espace public vient du fait que l'application de l'obligation du livrable d'un chantier n'est pas à la bonne échelle. En effet, la loi oblige la construction d'un immeuble dans les 3 ans qui suivent la délivrance d'un permis de construire, mais elle ne concerne pas l'intégration du bâtiment dans un ensemble (quartier ou rue). Une rue entière peut avoir quelques lots bâtis et d'autres en attente d'être bâtis. À l'échelle du bâtiment, le fait que cette obligation ne concerne que la construction et non la finition des appartements a pour conséquence que les propriétaires ne sont pas obligés de terminer leurs travaux de finition dans un délai précis. Ceci implique que des immeubles avec des appartements habités cohabitent avec d'autres en cours de finition.

Photo 1: Les rues et les bâtiments dans les nouvelles zones d'extension à Tartous.

De cette réalité, nous remarquons qu'il y des efforts de la part des autorités municipales à planifier le développement urbain au niveau d'organisation des chantiers et des délais de livraison des bâtiments. Cela se traduit, en réalité, par le fait de planifier le temps d'exécution à l'échelle des quartiers ou des rues.

Les câbles des réseaux d'électricité sont suspendus à des poteaux et la distribution d'électricité vers les immeubles se fait au moyen de compteurs individuels par appartement, installés souvent à l'entrée de l'immeuble. Nous avons plusieurs fois remarqué des fils électriques apparents et désordonnés à l'entrée d'immeubles, ce qui constitue un risque important pour la sécurité des résidents.

Ainsi, une organisation de la distribution électrique est fortement demandée, car le fait de distribuer l'électricité par des câbles suspendus à des poteaux a plusieurs conséquences, notamment l'exposition des réseaux aux intempéries, la possibilité de vol de l'électricité par connexions pirates et l'augmentation de la déperdition en électricité.

Photo 2: Les réseaux électriques dans la ville de Tartous.

Nous avons observé que, contrairement à ce qui se produit pour le réseau électrique, la distribution de l'eau potable est bien organisée. Des tubes arrivent à chaque bâtiment, comme le réseau d'eau usée, avec des regards bien disposés.

En ce qui concerne l'état visuel des bâtiments résidentiels, nous remarquons que les hauteurs des immeubles sont différentes : nous pouvons trouver des immeubles de quatre étages à côté de tours de neuf étages. Cette variété dans les hauteurs provient des règlements appliqués par la municipalité, qui définit la hauteur d'un immeuble en fonction de la surface totale du terrain de construction. Il n'y pas d'homogénéisation de la règle de hauteur appliquée à la rue.

Photo 3: Les déférents hauteurs des immeubles dans la ville de Tartous.

Dans certains quartiers populaires existant dans le centre-ville, l'autorité municipale permet des immeubles adjacents, alors que dans les zones des nouvelles extensions, un retrait d'alignement d'une distance de 6 mètres est obligatoire.

La majorité des bâtiments résidentiels dans la ville sont habillés en façade, surtout pour ce qui concerne les façades donnant sur la rue, par des pierres naturelles ou industrielles de couleur souvent claire. Les autres façades sont couvertes par des enduits classiques de couleur claire. Les volets sont en bois ou aluminium de couleur foncée, et quelques bâtiments, surtout les tours, laissent les balcons sans habillage, en béton lisse.

Photo 4: L'habillage de l'enveloppe des immeubles dans la ville de Tartous.

L'orientation des appartements et des baies vitrées suit la trame des rues. Pour rappel, la trame des rues principales est parallèle à la côte maritime, soit un orientation ouest. C'est la raison qui justifie l'orientation ouest des immeubles. Il faut noter qu'il n'y a pas d'obligation, en matière de règle de construction, en ce qui concerne l'orientation. Ce sont les architectes des bureaux privés qui déterminent l'orientation, pour des raisons commerciales : souvent vers l'ouest et le sud si l'implantation des terrains le permet, les conditions climatiques n'intervenant pas dans leur décision.

Les baies vitrées sont caractérisées par de grandes dimensions quasi uniformes, avec de simples vitrages et, quelquefois, des protections extérieures par des volets roulants en aluminium de couleur sombre. Il est de la responsabilité de l'Ordre des ingénieurs et de la municipalité de donner des conseils aux architectes afin de dimensionner et orienter les baies vitrées selon les conditions climatiques.

Photo 5: Les caractéristiques des baies vitrées des immeubles résidentiels à Tartous

2. Enquête sur l'état de la construction des bâtiments nouveaux

Cette enquête de terrain a été menée en 2011 pour réaliser un état des lieux de la construction de bâtiments neufs à Tartous.

Nous avons porté notre attention sur plusieurs points. Nous avons d'abord réalisé un descriptif technique des bâtiments (surfaces, nombre d'étages, ouvertures extérieures, balcons, etc.) et des matériaux intérieurs et extérieurs (menuiseries, revêtement des façades, étanchéité, isolation, etc.). Ensuite, nous avons confronté ces données aux normes thermiques nationales en termes d'efficacité énergétique.

Notre enquête a été réalisée en deux étapes. La première a été menée pour analyser 30 permis de construire obtenus à Tartous. La deuxième étape avait pour but de compléter notre analyse théorique ; nous avons ainsi visité 4 chantiers en cours d'exécution afin de récolter des informations sur les matériaux de construction, les méthodologies d'exécution, la qualification des acteurs de la construction (chef de projet, ingénieurs, architectes, ouvriers, etc.) associée à leur niveau de connaissances des problématiques énergétiques.

Le tableau 3.1 illustre les résultats de nos enquêtes.

Tableau 3.1: Synthèse de nos enquêtes

	Immeuble 3 étages + RDC	**Immeuble 7 étages + RDC**	**Moyenne**	**Total**
Nombre de permis	**15**	**15**	**-**	**30**
Nombre d'étages	**4**	**8**		**195**
Nombre d'appartements par l'étage	**2-3**	**2-5**	**3,5**	**570**
Nombre de pièces par appartement	**4-6**	**4-5**	**4,5**	**2 730**
Surfaces d'habitation sans balcons (m²)	**141**	**109**	**121**	**67 650**
Hauteur de chaque étage en m	**2,9**	**2,9**	**2,9**	**-**
Sous-sol	**Partielle (35 m^2)**	**Partielle (50 m^2)**		
Éléments porteurs (poteaux, poutres, murs porteurs, planchers)	**Béton armé et hourdis pour les planchers**	**Béton armé et hourdis pour les planchers**		
Éléments non porteurs (murs extérieurs entre poteaux, cloisons intérieures)	**Squelettes en hourdis : 15 cm (ext.), 10 cm (int.)**	**Squelettes en hourdis : 15 cm (ext.), 10 cm (int.)**		
Surfaces vitrées nord (m²)	**5,3**	**8,7**	**11,2**	
Surfaces vitrées sud (m²)	**5,3**	**8,7**	**11,2**	
Surfaces vitrées est (m²)	**7,2**	**8**	**8**	
Surfaces vitrées ouest (m²)	**7,2**	**6,8**	**8,8**	
Ratio : surface vitrée/surface totale appart.	**17,7 %**	**29,4 %**	**23,5 %**	
Vitrages dans le cahier des charges	**Simple**	**Simple**	**Simple**	**Simple**
Menuiseries dans le cahier des charges	**Alu**	**Alu**	**-**	**-**
Isolation thermique dans le cahier des charges	**Non**	**Non**	**-**	**-**
Étanchéité dans le cahier des charges	**Non**	**Non**	**-**	**-**
Revêtements des façades dans le cahier des charges	**Pierre / Enduit**	**Pierre / Enduit**	**-**	**-**
Chauffage dans le cahier des charges	**Non**	**Non**	**-**	**-**
Climatisation dans le cahier des charges	**Non**	**Non**	**-**	**-**

D'après notre enquête et le tableau ci-dessus, nous pouvons remarquer que le nombre d'étages moyen à Tartous est de quatre à huit, avec trois appartements en moyenne à chaque étage. Un sous-sol partiel, sans précision d'usage, est obligatoire pour tout immeuble. Le rapport entre la surface vitrée et la surface de l'appartement peut atteindre 30 %. Ce n'est pas une obligation mais une habitude de construction. C'est une information importante dans le

cadre de notre recherche, car c'est une prise en compte de la lumière naturelle dans le mode de construction.

Le béton armé est le matériau principal utilisé pour les éléments porteurs (poteaux, poutres, murs porteurs). Par contre, des squelettes en hourdis, qui sont une sorte de parpaing, sont souvent utilisés pour les éléments non porteurs, avec une épaisseur de 15 cm pour les murs extérieurs et de 10 cm pour les cloisons intérieures. Les revêtements des façades principales sont en pierre naturelle ou industrielle. Ceux des autres façades sont par contre négligés et juste peints. Des menuiseries en aluminium, caractérisées par des vitrages simples, sont en retrait de la surface extérieur du mur, de 20 cm en moyenne.

Malgré le règlement thermique syrien de 2008, aucune application sur terrain n'est prévue jusqu'à présent. Les permis de construire approuvés par l'Ordre des ingénieurs ne présentent aucun signe de respect de ce règlement ni de l'efficacité énergétique. Il y a une absence totale de la mention de l'isolation thermique, de l'étanchéité des systèmes de chauffage, de climatisation et d'eau chaude sanitaire (ECS).

Tous les permis de construire sont préparés par des bureaux d'étude agréés par l'Ordre des ingénieurs, et approuvés par les ingénieurs consultants qui instruisent la conformité des permis de construire avec le code de la construction.

Sur les trente permis de construire étudiés, notre choix s'est porté sur quatre chantiers en cours de finition (semi-fini), afin d'établir un état des lieux pour la description technique.

Pour déterminer les qualifications professionnelles des acteurs, nous leur avons demandé leur curriculum vitae afin de vérifier leur niveau d'étude et leurs expériences.

Tableau 3.2: Descriptifs des quatre bâtiments visité sur site.[55]

	Bâtiment 4	**Bâtiment 3**	**Bâtiment 2**	**Bâtiment 1**
Nombre d'étages	4	4	7	7
Nombre d'appartements par étage	2	2	2	5
Nombre de pièces par appartement	5	5	5	3
Moyenne du nombre de personnes/appartement	4,5	4	3,5	3,3
Surfaces d'étage (m²)	244	352	235	395
Hauteur d'étage m	2,7	2,7	2,7	2,7
Surface des murs extérieurs (m²)	180 X 4	207 X 4	166 X 7	286 X 7
Sous-sol	188 m^2	258 m^2	55 m^2	366 m^2
Éléments porteurs (poteaux, poutres, murs porteurs, planchers)	Béton armé et hourdis pour les planchers	Béton armé et hourdis pour les planchers	Béton armé et hourdis pour les planchers	Béton armé et hourdis pour les planchers
Mode de construction	Coulé sur place	Coulé sur place	Coulé sur place	Coulé sur place
Surfaces vitrées nord (m²)	0	21.8	11,2	22 X 8
Surfaces vitrées sud (m²)	0	16.6	11,2	10,9 X 8
Surfaces vitrées est (m²)	36	12	8	16.5 X 8

[55] Les détails de ces bâtiment sont dans l'annexe 1a

Surfaces vitrées ouest (m²)	21	14.5	8,8	36.7 X 8
Vitrages	Simple	Simple	Simple	Simple
Menuiseries : état d'exécution	Mauvais	Bon	Bon	Bon
Isolation thermique	Non	Non	Non	Non
Étanchéité	Non	Non	Non	Non
Revêtements des façades	Enduit	Pierre naturelle sur façade ouest	Pierre naturelle sur façade ouest	Enduit
Chauffage	Gasoil/électrique Individuel	Gasoil/électrique Individuel	Gasoil/électrique Individuel	Gasoil/électrique Individuel
Climatisation	Split individuel	Split individuel	Split individuel	Split individuel
Qualification générale du promoteur	Baccalauréat	Ingénieur	Professionnel	Architecte
Qualification des promoteurs sur le sujet	Non	Marginale	Non	Marginale

D'après cette enquête, nous pouvons noter que les descriptifs techniques sur le terrain des quatre bâtiments étudiés sont conformes aux permis de construire en termes de surfaces, de nombre d'étages, d'ouvertures extérieures, de balcons, etc.

Les matériaux de construction utilisés sont conformes, avec du béton armé pour la structure « Poteaux, poutres, fondations et une dalle béton-hourdis de 25 cm pour les planchers », des squelettes de parpaing de 15 à 20 cm pour les murs extérieurs avec un revêtement en pierre naturelle sur la façade principale et de l'enduit sablé sur les autres façades. De même, les matériaux utilisés pour les murs intérieurs sont conformes, mais avec une unité de parpaing de 10 cm, des menuiseries toujours en aluminium ou en bois, avec un vitrage simple. La notion d'isolation thermique n'est pas présente, et l'étanchéité des appartements est souvent mauvaise.

Aucune considération quant à l'efficacité énergétique ne s'applique sur le terrain. D'ailleurs, les systèmes de chauffage sont toujours individuels, principalement des poêles à mazout ou au gaz naturel dans le séjour, complétés par des radiateurs individuels électriques dans les autres pièces. Pour la climatisation, les systèmes sont toujours des splits individuels, en moyenne une unité par appartement.

Le niveau de qualification des promoteurs et de la main-d'œuvre est faible, du fait d'un niveau d'éducation insuffisant. Même si l'exécution des chantiers est souvent suivie par un ingénieur ou un architecte, les connaissances dans le domaine énergétique du bâtiment sont marginales. Une procédure énergétique à appliquer sur le terrain d'étude est indispensable pour améliorer la filière professionnelle et mettre en pratique les techniques énergétiques dans la construction. C'est l'objet final de cette recherche.

3. Enquête sur la consommation énergétique dans les bâtiments résidentiels

Ce questionnaire est établi dans le but de connaître les systèmes énergétiques utilisés dans les bâtiments résidentiels de la ville et les usages liés à ces systèmes, en incluant bien sûr l'avis des occupants sur ces systèmes et leur efficacité, afin de savoir s'ils sont satisfaisants.

Plusieurs informations ont pu être récoltées grâce aux réponses apportées au questionnaire :

1- Les systèmes de climatisation et de chauffage, leur mode d'utilisation ; le choix des appareils électroménagers du point de vue énergétique.

2- Le niveau de confort avec ces systèmes et les solutions adoptées par les habitants ; les connaissances des habitants en matière d'efficacité énergétique des bâtiments et de solutions proposées sur le marché ; les coûts énergétiques dans les bâtiments résidentiels.

Afin de récolter les données dans un terrain d'étude, il existe plusieurs méthodologies. Notre choix a été de réaliser une enquête par le biais d'un questionnaire détaillé (cf. annexe 3) et basé sur un système de choix avec un certain accompagnement, soit par des interviews directes, soit par téléphone, pour que les questionnaires soient clairs pour les personnes interrogées et afin de garantir leur compréhension du sujet.

Le questionnaire proposé dans notre enquête est basé sur un système de 4 points portant sur le confort thermique, pour simplifier les réponses des interrogés. Comme nous connaissons la ville, nos questions ont été précises concernant le type d'énergie utilisé, la manière dont celle-ci était utilisée et les périodes de son utilisation.

Nous avons laissé un champ de commentaires libres et donné des conseils pour que les personnes interrogées puissent ajouter leurs commentaires si elles le souhaitaient.

Notre enquête a été effectuée à l'été 2011, et nous avons essayé de choisir l'échantillon le plus représentatif possible. 50 personnes ont été interrogées, des deux sexes, d'âges, d'activités professionnelles et de classes sociales différents.

La répartition de cet échantillon s'établit comme suit :

- 60 % d'hommes et 40 % de femmes.
- 20 % d'ingénieurs, 10 % de techniciens, 8 % de retraités, 12 % d'enseignants, 10 % d'employés, 12 % de cadres, 14 % d'étudiants, 6 % de chômeurs et 8 % de commerçants.

Nous rappelons que cette enquête ne représente pas la société dans son ensemble, mais elle est importante pour notre cas d'étude et pour représenter une aide pour l'état énergétique dans les bâtiments résidentiels à Tartous.

Le premier résultat de notre enquête montre que les ménages, dans la ville de Tartous, habitent pour la plupart dans des appartements. Les maisons individuelles sont rares, et peu de personnes des couches sociales supérieures habitent dans des maisons. Notre étude sera donc basée sur des personnes habitant dans des appartements.

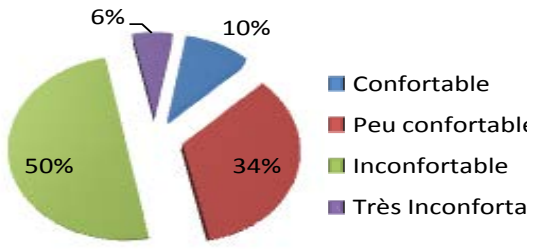
3.1. Confort thermique en hiver et en été

Le résultat de notre questionnaire sur la question du confort a été prévisible , et la majorité des personnes interrogées ont trouvé que leur résidence n'était pas confortable (peu l'ont trouvée peu confortable). Une distinction, dans les résultats, a été opérée entre hiver et été dans les figures 3.1 et 3.2.

- *En hiver :* 10 % des personnes ont trouvé leur résidence confortable, 34 % peu confortable, 50 % inconfortable, et 6 % très inconfortable.

  Ce résultat est évident du fait du manque en matière de chauffage (les gens n'utilisent pas de chauffage centralisé), et certaines pièces, dans les appartements, ne sont pas chauffées, surtout la cuisine, les chambres, les corridors. Les salles de bains sont souvent non chauffées. Le soir, les gens chauffent le séjour par un poêle à mazout ou au gaz, et les chambres à coucher avec des appareils électriques (mobiles ou fixes), souvent pendant la période précédant immédiatement le coucher, et ils les éteignent la nuit.

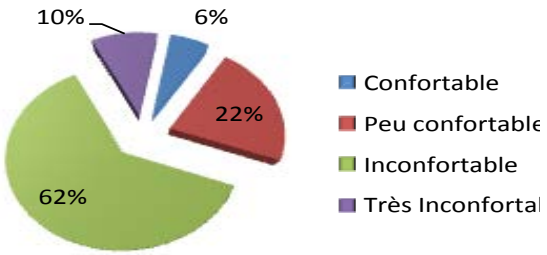
Figure 3.1 : Avis sur le confort thermique en hiver



- *En été* : 6 % des personnes ont trouvé leur résidence confortable, 22 % peu confortable, 62 % inconfortable, et 10 % très inconfortable.

  Nous avons trouvé que l'avis des personnes interrogées était plutôt que leur résidence était inconfortable en été. Cela peut être justifié par plusieurs raisons, d'abord pour une raison climatique, du fait du taux d'humidité et des températures estivales élevés. Une autre raison vient du réseau électrique dans la ville, avec des coupures de courant fréquentes pendant les mois d'été, car le réseau électrique ne supporte pas les charges lourdes induites par l'utilisation permanente des systèmes de climatisation dans les majorité des appartements. Enfin, il y a la difficulté de générer des courants d'air en ouvrant les fenêtres, du fait du bruit, de la pollution et des odeurs extérieures.

Figure 3.2 : Avis sur le confort thermique en été



La comparaison entre les résultats de notre enquête sur les saisons d'été et d'hiver montre des différences, que nous pouvons justifier par les éléments suivants :

1. Nous avons effectué notre enquête en été.
2. En hiver, les ménages peuvent porter des vêtements chauds pour se réchauffer.
3. En été, l'humidité importante et la température élevée donnent une sensation d'inconfort.

3.2. Comportement des occupants

Les réponses des habitants sur leurs comportements dans la saison d'hiver et celle d'été sont similaires. Les habitants vivent dans le séjour, mais leurs comportements changent selon les saisons. En général, les maisons ne sont ni isolées ni étanches, d'où les changements de réaction des habitants entre hiver et été.

En hiver, les gens ferment les portes et les fenêtres, et utilisent des rideaux de tissu à l'intérieur, essayant de mettre des vêtements chauds pour se déplacer entre le séjour, qui est toujours chauffé, et les autres pièces, qui ne sont souvent pas chauffées. Comme les résidences ne sont pas bien étanches, ils sentent qu'il y a des courants d'air qui pénètrent souvent à l'intérieur de leur résidence.

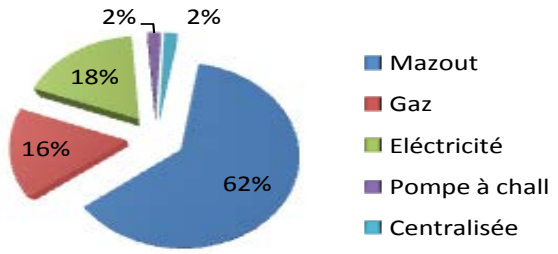
En été, les habitants vivent entre le séjour et le balcon, donc ils ouvrent les fenêtres tout le temps pour provoquer des courants d'air, mais le problème du bruit et de la pollution les oblige à fermer de temps en temps. Des ventilateurs électriques sont souvent utilisés pour rafraîchir leur séjour et d'autres pièces. Des splits de climatisation ont récemment été installés dans la majorité des résidences, dans le séjour, car leur prix est devenu accessible pour les classes moyennes. En général, les personnes portent des vêtements légers en été.

3.3. Système de chauffage en hiver

En général, le système de chauffage dans les résidences est le poêle à mazout, souvent installé dans le séjour, ou le radiateur au gaz. Pour les autres chambres, des radiateurs mobiles électriques sont souvent employés. Les systèmes de chauffage centralisé sont très peu utilisés pour plusieurs raisons : la première vient de leur coût élevé, la seconde s'explique par la non-adaptation des résidences à ce type de chauffage, du fait du manque de pièce disponible pour abriter la chaudière, de l'absence de canalisations et de tubes à l'intérieur des murs pour l'eau chaude, etc.

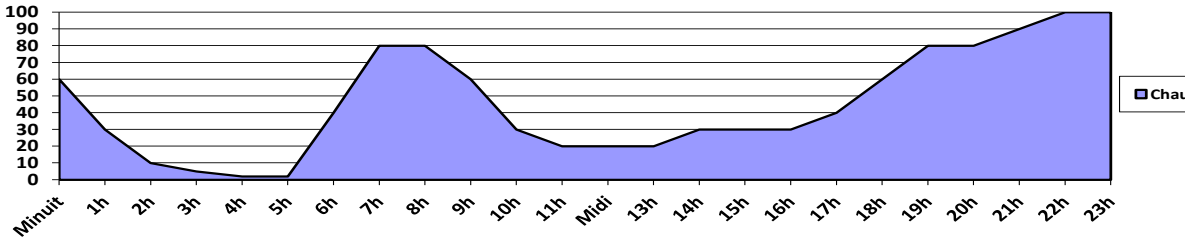
La répartition entre les types de chauffage utilisés dans les bâtiments résidentiels des ménages interrogés dans notre enquête est explorée dans la figure 3.3.

Figure 3.3 : Répartition entre les types de chauffage utilisés dans les bâtiments résidentiels



Le chauffage est souvent utilisé pendant les mois de novembre jusqu'à mars, et dans certains cas une semaine en avril. Les horaires d'utilisation sont le matin tôt et toute la soirée, à partir de 18 heures jusqu'à minuit. L'ordonnée du figure 3.4 représente le rapport des ménages utilisant le chauffage à l'heure indiqué (par rapport au total des ménages interrogés).

Figure 3.4 : Répartition d'utilisation du chauffage par heure

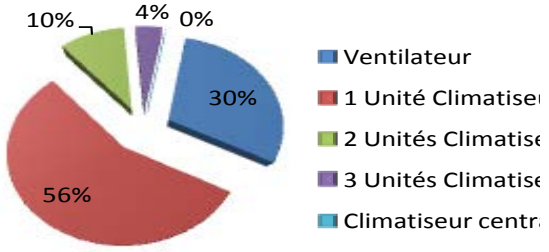


Les personnes étaient, quant à leur système de chauffage, plutôt peu satisfaits, car l'utilisation d'un système de poêle à mazout, s'accompagne toujours d'odeurs et de pollution, et celui-ci n'est pas toujours propre, du fait la nécessité de nettoyer le système régulièrement. Le chauffage au gaz est mieux adapté à une utilisation à l'intérieur des appartements, notamment grâce à l'absence de problème d'odeur et de nettoyage. Mais sa capacité moins importante que celle des poêles à mazout et les risques qu'il y a à utiliser des bouteilles de gaz dans les appartements limitent l'utilisation de ce type de chauffage. Le système éclectique est idéal, mais la consommation élevée en électricité fait obstacle à une utilisation fréquente dans toutes les pièces des appartements.

3.4. Système de climatisation en été

Nous avons réalisé notre enquête en 2011. À cette période, les classes moyennes pouvaient acheter des appareils de climatisation (split), grâce aux offres commerciales de ces appareils, caractérisées par des prix raisonnables et un rendement acceptable, pour rafraîchir les résidences. Ces raisons ont motivé les ménages à installer chez eux de plus en plus de ces appareils, parfois même plusieurs unités dans le même appartement. Nous rappelons que le système de climatisation centralisé est totalement absent dans les bâtiments résidentiels – nous pouvons par contre le trouver dans les bâtiments tertiaires. La figure 3.5 montre l'utilisation des unités de climatisation dans les bâtiments résidentiels des ménages interrogés dans notre enquête.

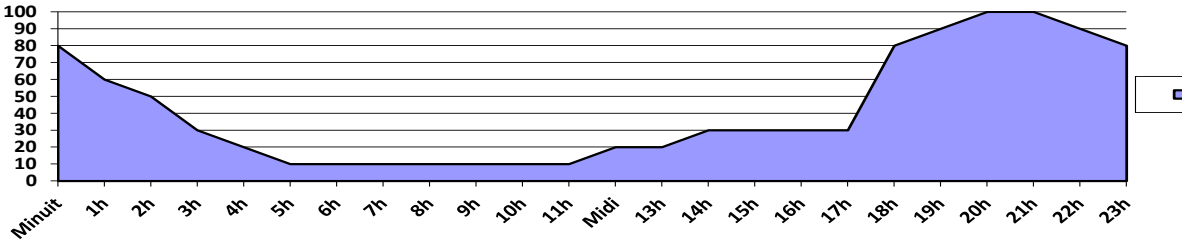
Figure 3.5 : Répartition de l'utilisation des climatiseurs dans les résidences



En ce qui concerne la période d'utilisation des systèmes de climatisation, les ménages commencent à rafraîchir leur appartement du mois de juin jusqu'au mois de septembre. L'utilisation hebdomadaire est liée à la présence des occupants et à la température extérieure. La consommation électrique élevée de ces appareils limite leur utilisation dans la journée, pendant que les occupants sont en majorité à l'extérieur, et durant les périodes où l'air frais extérieur peut apporter du confort sans qu'il soit nécessaire de faire fonctionner la

climatisation. L'ordonnée du figure 3.6 représente le rapport des ménages utilisant la climatisation à l'heure indiqué (par rapport au total des ménages interrogés).

Figure 3.6 : Pourcentage d'utilisation de la climatisation par heure

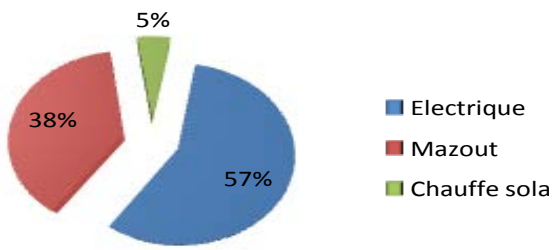


Cette figure montre que les occupants utilisent en majorité la climatisation durant la nuit, mais aussi dans la journée, à partir de 17 heures (après le travail). Nous rappelons que l'utilisation de la climatisation dans la journée (entre 8 heures et 17 heures) s'explique par la présence d'un ou plusieurs des occupants dans l'appartement à cette période.

3.5. Système d'eau chaude sanitaire

Le résultat de notre enquête montre une installation minimum consistant en un ballon d'eau chaude pour l'utilisation sanitaire « douche, lavage, lessive, etc. » dans chaque appartement. Les énergies principales employées pour ce type d'utilisation sont le mazout ou l'électricité. Malgré le succès médiatique du système de chauffage solaire, très peu d'installations de ce type ont été trouvées lors de notre enquête. Cela s'explique par le prix un peu élevé de ce système et par l'absence de connaissances suffisantes de cette technologie et de son rendement chez les ménages. L'utilisation hebdomadaire d'ECS dépend de la présence des occupants, mais elle se répartit souvent durant deux périodes principales : le matin entre 6 heures et 9 heures, et le soir entre 20 heures et 22 heures. La figure 3.7 représente la part relative des ménages utilisant l'un ou l'autre des sources énergétique (électricité, mazoute, chauffe solaire) pour l'ECS

Figure 3.7 : Répartition du pourcentage de l'énergie utilisée pour l'ECS

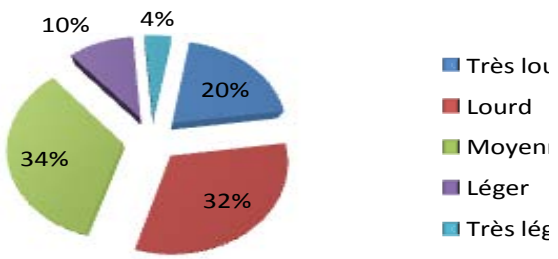


Il faut savoir que le prix d'un chauffe-eau solaire est un peu élevé mais reste acceptable, surtout pour les produits fabriqués en Chine, mais le manque de cette culture et l'absence d'orientation publique et administrative ne poussent pas les gens à installer ce type de système.

3.6. Les factures énergétiques

Les consommations énergétiques sont variées dans les bâtiments résidentiels selon les types d'énergie utilisées, entre l'électricité, le mazout et gaz naturel. Principalement, l'électricité est pour les utilisations telles que l'éclairage, la climatisation, l'usage des équipements électroménagers, la production d'ECS, et pour le chauffage parfois. Le mazout est principalement pour l'utilisation de chauffage et d'eau chaude sanitaire. Le gaz est pour l'utilisation de chauffage et de cuisson. La figure 8 montre les avis des interrogées sur leurs factures énergétiques. La figure 3.8 représente la part relative des avis des ménages sur leurs factures énergétiques.

Figure 3.8 : Avis sur les factures énergétiques



Le résultat de cette enquête a révélé que les occupants trouvent généralement leurs factures d'énergie lourdes (200 litres en moyenne de mazout par an, 20 bouteilles de gaz naturel et une facture d'électricité souvent lourde), aussi sont-ils ravis de trouver d'autres solutions pour alléger leurs dépenses énergétiques.

3.7. Analyse des résultats

Ces questionnaires sur les systèmes et les consommations énergétiques dans les bâtiments résidentiels ont permis d'éclairer la situation énergétique actuelle, que nous résumons ainsi :

1. Les bâtiments résidentiels présentent un inconfort thermique en hiver comme en été. Certaines remarques des habitants ont porté sur les conditions climatiques et la mauvaise qualité de leur résidence.
2. Le système de chauffage est basé principalement sur le mazout, puis sur l'électricité et le gaz, tandis que le système de climatisation est basé complètement sur l'électricité. Les sources énergétiques pour produire l'eau chaude sanitaire sont l'électricité et le mazout, et l'utilisation de chauffe-eau solaires est très marginale.
3. Les systèmes de chauffage et de climatisation dans les résidences n'assurent pas un confort thermique dans toutes les pièces. La consommation importante des systèmes de chauffage et surtout de climatisation empêche les gens de les utiliser tout le temps et en toutes pièces du bâtiment. La facture énergétique est bien lourde pour les habitants, et ceux-ci souhaitent trouver des solutions pour l'alléger.

4. Les innovations énergétiques pour les bâtiments en Europe et leur faisabilité dans la ville de Tartous

Afin de mettre en évidence les solutions et les innovations énergétiques connues en Europe et leurs applications dans les bâtiments économes en énergie, un état de l'art de ces

technologies est présenté dans cette section, ainsi que leur principe et leur fonctionnement. Ces systèmes seront mis en lien avec notre terrain d'étude pour pouvoir évaluer la possibilité d'adopter certains d'entre eux en cohérence avec la spécificité de notre site d'étude.

La notion d'écoconstruction a commencé à apparaître dans la lecture générale. Elle correspond à la nécessité de préserver les ressources énergétiques en matières premières, à lutter contre le changement climatique et à assurer une qualité environnementale et sanitaire des produits de construction. Le choix de la conception dans la construction doit donc être précis pour assurer une haute performance énergétique et environnementale.

Pour atteindre ces objectifs, les acteurs européens de la construction disposent de référentiels, de normes et des certifications pour assurer la qualité des constructions dites « écoconstructions ».

Leur fonction peut être d'améliorer la protection solaire, la ventilation, le chauffage, l'éclairage ou la sécurité des accès. Il s'agit plus de possibilités d'action sur les fonctionnalités du bâtiment pour améliorer le confort des usagers.

La mise en œuvre de ces innovations énergétiques dans le bâtiment, qui sont sources d'économie ou de transition énergétique, dans des pays en développement comme la Syrie serait d'une grande utilité pour améliorer la politique énergétique de l'État et la vie des habitants, ainsi que pour assurer un développement durable.

4.2. État de l'art des technologies dans les bâtiments économes en énergie

L'innovation énergétique dans le bâtiment, en rendant les bâtiments plus performants, apporte divers avantages, dont les plus notables sont les économies d'énergie, la réduction des besoins et des consommations d'énergie, l'usage de sources renouvelables d'énergie. Pour ce faire, l'efficience énergétique sera effectuée par les approches suivantes :

- Le recours à une architecture bioclimatique, qui permet de réduire les besoins énergétiques, de maintenir des températures agréables, de contrôler l'humidité et de favoriser l'éclairage naturel. En même temps, l'utilisation de sources d'énergie renouvelable, comme le solaire, l'air, l'eau, la géothermie, etc., sera privilégiée.
- La réduction des dépenses énergétiques internes par le biais d'usages performants, via l'utilisation d'appareils électriques performants, et l'utilisation de générateurs énergétiques performants.
- La réduction des besoins en chauffage via une isolation performante, le traitement des ponts thermiques, l'amélioration de l'étanchéité à l'air, etc.
- La réduction des besoins en climatisation à travers des solutions passives pour améliorer le confort durant l'été.

Dans le tableau 3.3, nous présentons l'état de l'art des technologies utilisées dans les bâtiments économes en énergie, avec pour but de retenir les moyens de les plus adaptées à notre terrain d'étude. L'enveloppe, la ventilation, les systèmes de production d'énergie et les conceptions bioclimatiques des bâtiments sont les postes concernés par ces technologies.

Tableau 3.3 : les technologies utilisées dans les bâtiments économe en énergie.

Poste	Technologie	Technique	Descriptif
Enveloppe	Isolation	Isolation intérieure et extérieure	Isolation thermique, étanchéité à l'air et traitement des ponts thermiques
	Menuiserie	Double et triple vitrages avec contrôle solaire	Fenêtres, portes, etc. améliorer leurs besoins chauffage et rafraîchissement
	Ombrages solaire	Brise soleil, masques intégré, store, etc.	Contrôler les apports solaires direct et indirect.
	Inertie thermique	Grandes épaisseurs des murs et des planchers ou avec matériaux à changement de phase	Moyenne passive traditionnelle pour stocker et déstocker la chaleur.
	Façade double pau[56]	Double façades vitrées avec un cavité entre eux.	Créer un espace tampon, ventilé en été.
Ventilation	Ventilation double flux[57]	Avec récupération de chaleur via échangeur	Aspirer l'aire vicié et insuffler l'aire neuf avec des techniques d'échangeur.
	Puits canadien[58]	Echangeur air-sol	Echangeur thermique via des tubes enterrées dans le sol à l'aide de ventilateur.
	Sur ventilation	Naturelle / mécanique	Evacuer la chaleur interne, et refroidir la structure de bâtiment par convection
Système	Solaire	Chauffe solaire individuel,	Capteurs solaires chauffe l'eau glycolée qui transfère la chaleur à l'eau du ballon de stockage via l'échangeur
		Système solaire combiné SSC[59]	Production d'ECS et de chauffage
		panneaux photovoltaïques[60]	Production d'électricité
		climatisation solaire[61]	Par des capteurs solaire thermiques ou photovoltaïques.

[56] X. Loncour, A. Deneyer, M. Blasco, G. Flamant, P. Wouters, « Les doubles fraçades ventilées », Centre scientifique & techniques de la construction (CSTC), Bruxelle, 2004, 48p.

[57] ADEME, « La ventilation double flux dans les bâtiments individuels », fiche technique, 2013, 4p.

[58] Centre technique des industries aérauliques et thermiques, « Les puits canadiennes/provençaux ». guide d'information, Villeurbanne, 2008, 32p.

[59] ADEME, « Le chauffage, la régulation, l'eau chaude, Chaleur et confort sans gaspillage, l'habitat individuel », Rapport, Septembre 2011. 36p.

[60] ADEME, « Guide d'aide au montage de projet photovoltaïque », Guide et cahier techniques, 2013, 16p.

[61] F. Meunier et D. Mugnier, « La climatisation solaire », Dunod, Paris, 2013, 300p.

	Pompe à chaleur	Selon les milieux utilisé (air, sol et eau)	Dispositif thermodynamique permettant de transférer la chaleur d'un milieu à un autre.
	Chaudière à condensation[62]	En France, proposé en association entre condensation au gaz naturel et solaire. pour un chauffe –eau solaire.	Profiter de la chaleur latente de la vapeur d'eau. Application types Chauffe-eau solaire individuel ou SSC
	Les systèmes évaporatifs[63]	Système à évaporation directe et indirecte	Avantageux dans les régions à climat sec
Conception bioclimatique	Architecture bioclimatique.[64] Utiliser des matériaux à forte performance énergétique	Orientation du bâtiment selon la course du soleil. A utiliser des matériaux faible impact environnemental comme le bois.	L'intégration du bâtiment dans son environnement (vent, soleil, végétation, arbres, etc.)

4.3. Enquête par questionnaire sur les connaissances techniques en technologie énergétique

Le but de cette enquête est d'évaluer les savoir-faire des professionnels et les intérêts des ménages de notre site d'étude sur les principales technologies utilisées dans les bâtiments à faible consommation énergétique.

4.3.1. Les différentes technologies utilisées dans les bâtiments économes en énergie en Europe : synthèse

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes technologies utilisées dans les bâtiments économes en énergie en Europe. Nous pouvons les regrouper en familles de fonctions techniques par : l'enveloppe, la ventilation et les systèmes énergétiques.

4.3.1.1. L'enveloppe

Plusieurs techniques sont adoptées dans les bâtiments économes en énergies :
- les protections solaires (masques intégrés, brise-soleil, stores externes et internes) ;
- l'isolation thermique (extérieure et intérieure), points thermiques inclus ;
- les fenêtres performantes (double ou triple vitrage, vitre à contrôle solaire, etc.) ;
- les façades double peau ;
- l'inertie thermique ;
- les matériaux à changement de phase.

4.3.1.2. Ventilation

La ventilation peut être de trois types :
- ventilation naturelle avec surventilation nocturne ;
- ventilation double flux avec récupération de la chaleur ;

[62] GrDF, « Les chaudières à condensation », Fiche technique, 2010, 12p.

[63] ADEME, « Techniques de rafraîchissement basse consommation », fiche OD, 2003

[64] ADEME- Agence de l'eau, « Guide de l'éco construction », Guide technique, 2006, 68p.

– puits canadien.

4.3.1.3. Les systèmes

Les systèmes peuvent être de quatre types :
– systèmes solaires (chauffe-eau solaire, solaire photovoltaïque, climatisation solaire) ;
– pompes à chaleur ;
– chaudières à condensation ;
– systèmes évaporatifs.

4.3.2. Résultats de notre enquête

Les informations principales à récolter au travers de cette enquête étaient :
– une connaissance générale sur les bâtiments économes en énergie ;
– les savoir-faire techniques locaux pour chaque technique proposée ;
– les surcoûts attachés à chaque technique par rapport au coût de la construction ;
– l'acceptation (sociale et du surcoût) des ménages quant à chaque technique proposée.

Notre enquête a été réalisée à l'aide d'un questionnaire avec des interviews ; 20 personnes ont été interrogées, qui représentaient des acteurs du bâtiment (40 % d'ingénieurs, 30 % de promoteurs et 30 % de techniciens). En ce qui concerne les ménages, une fiche de questions a été distribuée pour les 50 personnes qui avaient été interrogées dans l'enquête précédente sur la consommation énergétique dans les bâtiments résidentiels.

Les résultats de notre enquête sont présentés dans le tableau 3.3. Les chiffres 0, 1, 2 et 3 présentent l'état des savoir-faire chez les acteurs du bâtiment (0 : pour la réponse par non ou jamais entendu ; 1 : pour une connaissance seulement théorique ; 2 : pour une faisabilité moyenne ; 3 : pour une réponse d'acteur avec expérience théorique et pratique), ou se rapportent à l'intérêt des ménages (0 : non ; 1 : avis moyen ; 2 : avis acceptable ; 3 : avis très acceptable) :

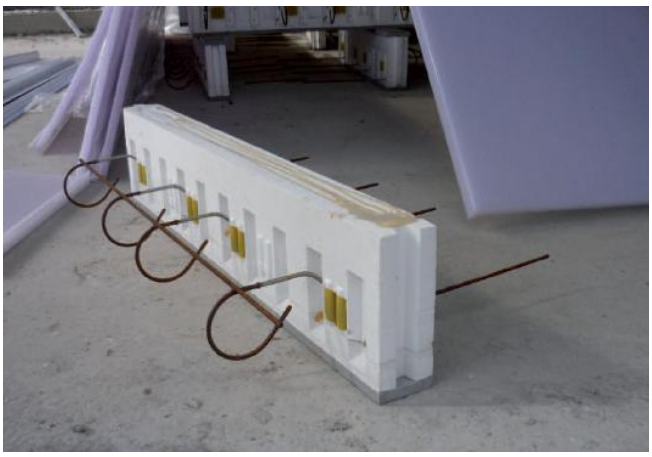
Tableau 3.3 : Résultats de l'enquête par questionnaire sur les connaissances techniques des systèmes énergétique déstiné des professionnels, et sur l'intérêt et l'acceptation des ménages.

Technique / Résultats	Enveloppe						Ventilation			Systèmes					
	Protection solaire	Isolation Int. / Ext.	Fenêtres performantes	Façade double peau	Inertie	MCP	Surventilation nocturne	Ventilation double flux	Puits canadien	Chauffe-eau solaire	Solaire photovoltaïque	Climatisation solaire	Pompes à chaleurs	Chaudière à condensation	Systèmes évaporatifs
Savoir-faire techniques des professionnels	3	1 & 2	2 & 3	0 & 1	2 & 3	0 & 1	2 & 3	2 & 3	0 & 1	2 & 3	2 & 3	0 & 1	2 & 3	0 & 1	0
Intérêt et acceptation des ménages	3	2	2	0	2	0	3	2	0	3	1	0	2	0	0
Surcoût %	2	8 / 12	4	-	2	-	2	2	-	2	10	-	2	-	-

Le premier résultat de notre enquête montre que la majorité des acteurs du bâtiment ont une connaissance, même théorique, de toutes les technologies énergétiques proposées, sauf les système évaporatifs – nous trouvons cela normal, car ce système n'est pas universel et reste toujours en développement dans les établissements de recherche occidentaux.

En ce qui concerne les technologies de l'enveloppe, nous trouvons que les protections solaires, les fenêtres performantes et le système d'inertie sont des technologies connues, et que les savoir-faire techniques sont disponibles. L'isolation intérieure est connue théoriquement par 70 % et réalisée par 30 % des acteurs. Par contre, en ce qui concerne l'isolation extérieure, aucune connaissance sur la technique de réalisation n'a été mentionnée. Les acteurs ont également montré des difficultés avec les ponts thermiques (notion connue en théorie uniquement) en lien avec les techniques de construction locales (les constructeurs utilisent rarement des bétons préfabriqués, mais plutôt des bétons coulés sur place). Ces techniques empêchent de réaliser des rupteurs thermiques, surtout avec les balcons, qui sont un élément essentiel dans les appartements de cet environnement.

Figure 3.9 : Rupture de ponts thermiques pour balcon



Une solution consistant en des balcons désolidarisés a été proposée pour éviter ce problème de réalisation des ponts thermiques. Cette solution permet une rupture totale du pont thermique par la désolidarisation complète des balcons de la façade, en créant une structure porteuse indépendante. Cette solution a été quasiment refusée par les acteurs du fait du surcoût élevé qu'elle génère (elle nécessite en effet des fondations et des poteaux-poutres supplémentaires ou des structures métalliques).

Figure 3.10 : Balcon totalement désolidarisé

La solution des façades double peau est ignorée pour des raisons de méconnaissance technique, de surcoûts élevés et de perte en surfaces habitables (les règlements n'autorisent

pas d'extension vers l'extérieur de l'enveloppe, mais vers l'intérieur). Les matériaux à changement de phases sont totalement absents sur le marché, et la connaissance technique théorique les concernant est très pauvre.

Les ventilations à double flux et la surventilation nocturne sont des systèmes réalisables avec des surcoûts acceptables. Par contre, peu d'acteurs (20 %) ont des connaissances sur le puits canadien, avec la difficulté liée à la nécessité d'un terrain libre pour sa réalisation (disponibilité, pour l'enfouissement du conduit, de 30 à 50 m)[65], ce qui est difficile à trouver avec les codes d'urbanisme dans la ville, qui permettent de construire des immeubles mitoyens.

À part certains systèmes (chaudières à condensation et systèmes évaporatifs), la majorité des systèmes de production d'énergie sont connus. Pour le chauffe-eau solaire, par exemple, tous les acteurs ont des connaissances suffisantes quant à la technique et le fonctionnement, et les avis des ménages sur le surcoût sont positifs. Nous avons trouvé le même résultat pour la pompe à chaleur (air/air), avec des installations fréquentes presque dans tous les appartements examinés, contrairement au système solaire photovoltaïque, qui a été rejeté à cause du surcoût élevé, et de la nécessité de stocker l'énergie produite d'un autre côté, du fait que le réseau électrique local est généralement dégradé.

Après cette analyse, nous pouvons constater que certains systèmes sont applicables techniquement et acceptables au niveau du surcoût lié ainsi que socialement. Il s'agit :

- pour l'enveloppe : Taux de la protection solaire, de l'isolation extérieure, des fenêtres performantes et de l'inertie ;
- pour la ventilation : de la surventilation nocturne et de la ventilation à double flux.
- pour les systèmes : du chauffe-eau solaire et de la pompe à chaleur.

Ces techniques sont retenues pour notre étude, et elles seront analysées pour éclairer l'amélioration possible à titre individuel ou collectif, à fin d'augmenter le confort thermique dans les bâtiments résidentiels et réduire leurs consommations énergétiques.

Conclusion

Ce chapitre a révélé les différentes problématiques liées à la construction dans la ville de Tartous, entraînant une augmentation dans la consommation énergétique et produisant de l'inconfort pour les habitants.

Nous avons présenté les différentes origines de ce défi énergétique dans les bâtiments résidentiels dans la ville de Tartous, qui constitue le sujet de l'architecture dominante, représenté par l'orientation des bâtiments et les baies vitrées, les problèmes de l'ingénierie, incluant les matériaux de construction, les techniques de construction et l'absence d'isolation et d'étanchéité. Un problème lié aux systèmes du chauffage et de climatisation utilisés, et l'administration avec la mauvaise application du règlement thermique existant.

Ces problèmes, qui induisent un facteur énergétique lourd pour les habitants, montrent la nécessité de chercher à imposer une nouvelle procédure énergétique dans les bâtiments résidentiels afin de pouvoir maîtriser la consommation énergétique et améliorer l'état de

[65] *Les Puits canadiens/provençaux, Guide d'information*, Centre technique des industries aérauliques et thermiques, CETIAT, France, 2010, www.cetiat.fr.

confort des occupants. Ceci peut être réalisé par la mise en place d'une certification énergétique pouvant contrôler à la fois les défis énergétiques dominant et alléger les consommations énergétiques dans les bâtiments résidentiels, en adoptant des systèmes d'amélioration retenus sur site qui sont applicables techniquement et acceptables au niveau des surcoûts liés et au niveau social.

Dans le chapitre suivant, nous allons procéder à l'état de l'art des procédures des certifications énergétiques développées et utilisées pour les bâtiments à basse consommation dans plusieurs pays occidentaux, afin de découvrir les moyens de les appliquer ou d'adapter leurs critères à notre terrain d'étude.

Chapitre 4.
Comparaison des critères majeurs des référentiels énergétiques internationaux et leur application

L'innovation énergétique dans le domaine du bâtiment emprunte diverses procédures. Elle s'organise aussi bien autour de l'emploi de conceptions conférant une qualité énergétique aux bâtiments qu'à travers des systèmes de production et de consommation d'énergie efficients. Les matériaux et les concepts de construction comprenant également les systèmes de production et de consommation d'énergie intégrés dans les bâtiments sont analysés et évalués par des démarches de labellisation et de certification afin de mettre en lumière leur qualité énergétique.

Nous expliquerons, dans ce chapitre, le contexte de la certification énergétique dans le bâtiment, puis nous analyserons les critères énergétiques et leur champ d'application, afin de mener une approche comparative entre six labels, choisis dans le domaine énergétique. Cette analyse doit nous permettre de retenir une procédure adaptée au cas d'étude Est-Méditerranée, en retenant les critères les plus pertinents des labels.

Il s'agira d'identifier, pour chaque label :

- ses limites d'application, plus précisément sur les points suivants :
  - ✓ climat,
  - ✓ techniques de construction,
  - ✓ équipements techniques,
  - ✓ usages ;
- la facilité de transposition à un environnement différent de l'environnement d'origine ;
- le poids des exigences énergétiques dans l'évaluation globale, en privilégiant un ou deux labels, compte tenu des contextes locaux prévalant en région Est-Méditerranée ;
- la prise en compte du confort d'été au même niveau que le confort d'hiver ;
- la pertinence des outils et de la méthode d'évaluation dans des environnements différents ;
- l'acceptabilité technique et socio-économique dans l'environnement considéré.

1. La certification et la labellisation internationales

Les grands sommets sur l'environnement, la protection de la Terre et la préservation du futur de l'humanité (notamment Rio en 1992, et Rio+20) ont sensibilisé le secteur de la construction et du bâtiment à fournir plus d'efforts pour tenir compte du développement durable (DD). Cette filière s'engage de plus en plus à construire des bâtiments dits « vertueux », consommant moins d'énergie fossile et limitant les impacts environnementaux. Pour montrer leur respect des engagements du développement durable, les acteurs du secteur de la construction se tournent vers des systèmes d'évaluation des bâtiments pour apprécier les performances énergétiques environnementales de ceux-ci. Différents outils ont été développés depuis les années quatre-vingt-dix au niveau mondial, pour aider tous les acteurs à s'engager dans un processus de conception et de réalisation de bâtiments de qualité environnementale et énergétique. Ces derniers sont mesurés à partir d'indicateurs fondés sur des labels, certifications ou normes.

Dans ce secteur de la construction et du bâtiment, les termes « label », « certification » ou « norme » ont des sens bien précis. Ainsi, Claire-Sophie Cœudevez et Suzanne Deoux[66] soulignent qu'un **label** garantit la qualité d'un produit (ici, du bâtiment) selon le respect d'un cahier des charges ou référentiel qui définit les objectifs de performances qualitatifs et/ou quantitatifs à atteindre. Ces auteurs définissent la **certification** comme un processus de vérification du respect d'un référentiel qui reconnaît officiellement les caractéristiques environnementales d'un bâtiment. La certification est réalisée par un organisme indépendant de la structure ayant conçu le référentiel. La **norme**, quant à elle, est désignée comme un corps de règles et de limites édictées par une autorité de normalisation, pour unifier les pratiques d'une famille de produits (ici, le bâtiment). L'autorité de normalisation en France est l'Afnor.

La réglementation est une obligation imposée par les pouvoirs publics (UE, France, etc.). Elle est parfois issue de labels expérimentés plusieurs années auparavant (label BBC, précurseur de la RT2012 en France).

Les premières démarches de recherche de qualité environnementale et de performance énergétique des bâtiments sont celles des éco architectes ; convaincus et militants, ils s'inspirent de la conception bioclimatique des années soixante-dix. Les approches suivantes, portées par des entreprises ou des gouvernements, visent à généraliser les recours à ces solutions architecturales innovantes : elles ont pour objectif de promouvoir des normes de construction et des référentiels qui guident la démarche des acteurs de la construction en leur permettant de valoriser les efforts et progrès réalisés dans la démarche de qualité et de performance.

Au niveau international, les référentiels ISO 9000 (qualité) et ISO 14000 (environnemental) sont à la base des référentiels de management de la qualité environnementale appliqués au secteur du bâtiment (MQEB). Les premières certifications ISO 9000 sont apparues dans le bâtiment en 1994, avec pour objectif de mieux maîtriser la qualité de la construction. Mais la démarche ISO 9000 reste très peu déployée dans les entreprises de mise en œuvre, car celles qui s'étaient lancées dans la certification n'y ont pas trouvé de vraie valeur ajoutée, la démarche n'étant pas reconnue par les maîtres d'ouvrage.

Ces initiatives de performance des bâtiments ont historiquement été menées par certains pays anglo-saxons avant d'être adoptées par d'autres États, notamment d'Europe et du Sud, chaque pays les ayant adoptées selon leurs conditions climatiques, leur environnement propre et leur volonté politique.

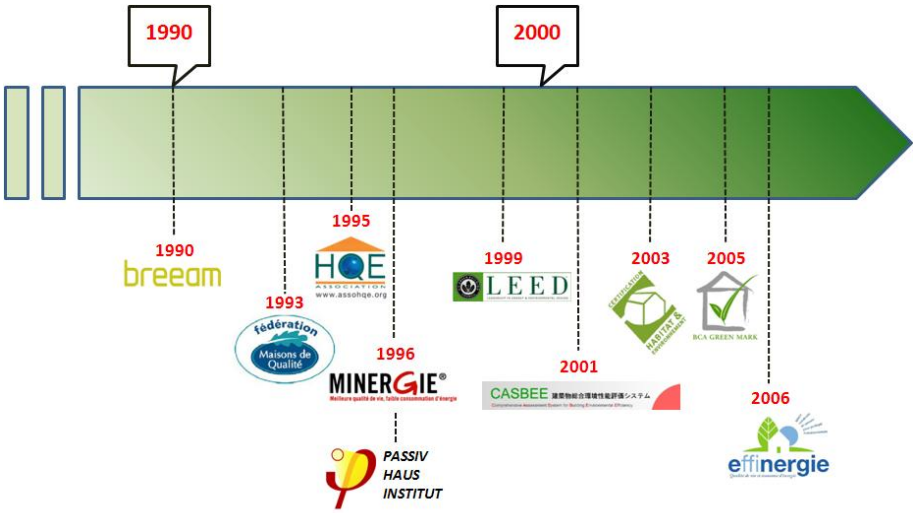
Voici un bref rappel historique concernant les différents labels (figure 4.1) :

- Le label BREEAM : créé en 1990 en Angleterre, constitue le précurseur dans le monde de toutes les démarches de qualité environnementale et de performance énergétique dans le bâtiment. Ses principales spécificités sont précisées dans l'étude des labels réalisées dans les pages suivantes.
- Le label LEED : apparu dans les pays nord-américains et en Australie à la fin des années 1990, c'est le label anglo-saxon par excellence.
- PASSIV'HAUS et GSBC : ces deux labels allemands sont apparus au milieu des années 1990 et vers la fin des années 2000.
- Le label MINERGIE : a vu le jour en Suisse au milieu des années 1990.

[66] C.S. Cœudevez, S. Deoux, *Bâtiments, santé, le tour des labels,* Andorre, Médieco Éditions, 2011, p. 5.

- Le label GREENCALC : mis en œuvre aux Pays-Bas, procède, dans sa démarche, par comparaison à un bâtiment de référence avec l'analyse du cycle de vie.
- Le label CASBEE : a été créé au Japon en 2002.
- Le label HQE (Haute Qualité Environnementale) : existe en France depuis 1996.
- Le label BBC (Bâtiment Basse Consommation) Effinergie est français, 2006.

Figure 4.1 : Échelle chronologique de création de quelques labels[67]



Ces labels et leurs démarches respectives illustrent les approches de labellisation et de certification qui sont utilisées par les professionnels du secteur de la construction et du bâtiment, dans la conception et la réalisation de bâtiments neufs comme dans la rénovation et réhabilitation de bâtiments déjà existants.

2. Place des critères énergétiques dans quelques labels

Nous présenterons ici six de ces démarches : BREEAM, LEED, HQE, Minergie, Passiv'Haus, OST, qui sont les plus reconnues en Europe et dans le monde.

2.1. La démarche BREEAM et Eco-Homes

C'est la toute première démarche de performance énergétique et de qualité environnementale en matière de construction de bâtiments. Sa création remonte à 1990 en Angleterre, et son organisme gestionnaire est le Building Research Establishment (BRE). La démarche suivie par ce label est une approche transversale de type « système », qui se base sur l'affectation des éco points cumulables dans le cadre de l'évaluation d'un score global.

Eco-Homes est la version du BREEAM pour les maisons individuelles (Eco-Homes for News Building pour les constructions neuves ; Eco-Homes XB pour les maisons existantes en rénovation ou réhabilitation). Cette version est devenue le Code for Sustainable Homes, qui cible principalement la création de logements « Zéro carbone ».

Les Anglais ont mis au point une procédure s'appuyant sur l'outil SAP (Standard Assessment Procedure) qui évalue la performance énergétique des bâtiments suivant un calcul

[67] Jonathan Villot, Natacha Gondran et Valérie Laforest, mars 2011.

standard [Henderson, 2000][68]. Cet outil utilise le logiciel BREDEM (Building Research Establishment Domestic Energy Model), lequel a servi à établir la procédure d'évaluation standard SAP et les barèmes NHER.

Le logiciel NHER (National Home Energy Rating) permet d'évaluer les logements à partir de leur coût de fonctionnement énergétique au m² en conditions normales d'occupation – le comportement individuel des occupants n'étant pas pris en compte –, pour leur attribuer ensuite un score sur une échelle de 0 à 10. Le succès de ce logiciel repose essentiellement sur sa conception, sa facilité d'emploi et sur l'intégration de données NHER comme valeurs par défaut pour certains types de bâtiments, lesquelles permettent de renseigner automatiquement plusieurs champs [ADEME/énergie-cités, 2003][69].

La procédure SAP se présente sous la forme d'une échelle non linéaire de 1 à 100. Elle permet de calculer l'énergie utilisée pour chauffer et alimenter en eau chaude le logement. Contrairement au NHER, la SAP ne prend pas en compte les autres utilisations de l'énergie, comme la consommation d'électricité pour éclairer le logement et faire fonctionner les appareils ménagers, ni les variations climatiques d'une région à l'autre du Royaume-Uni. La SAP est calculée à partir du modèle BREDEM-9, version simplifiée du BREDEM-12.

Bien que ce label soit le plus répandu dans le monde en termes de nombre d'opérations effectuées, nous trouvons que les limites climatiques et d'usage standard spécifiques à l'environnement d'origine font obstacle à son utilisation dans un autre environnement, différent de l'environnement d'origine. L'évaluation des aspects énergétiques n'atteint pas un haut niveau : cela ne représente que 21 points sur 100 dans l'évaluation globale de l'opération, et l'absence de critère exprimant le confort d'été montre les difficultés à adapter ce label dans le contexte méditerranéen.

2.2. *Leadership in Environmental and Energy Design* (LEED)

Cette démarche, qui a cours aux USA, au Canada et en Australie, a vu le jour dans les années 1998-1999. Elle a pour organismes gestionnaires les labels US Green Building Council (USGBC) pour les USA et CAGBC pour le Canada. La démarche était initialement dédiée aux bâtiments tertiaires neufs, mais elle se décline maintenant à tout type de bâtiment et met en œuvre l'évaluation intégrale du bâtiment tout au long de son cycle de vie.

La méthode d'évaluation des bâtiments dans ce label permet d'attribuer une note (crédits) calculée sur une base de 34 cibles réparties en cinq grandes familles[70]. L'importance de l'approche énergétique est élevée (17 points sur un total de 69) : c'est une application directe des normes de l'ASHRAE, par exemple la norme 55 pour le confort thermique, la norme 62 pour la ventilation et la qualité de l'air, et la norme 90 pour la consommation énergétique.

Ce label ne tient pas compte des facteurs liés à l'environnement local, comme la température extérieure moyenne. Il se réfère par ailleurs à des standards américains (ASHRAE, ASTM, ANSI), où le critère du confort d'été est absent, ce qui limite son adaptation aux pays chauds.

La certification LEED n'exige pas de recourir à des technologies innovantes, elle s'appuie au contraire sur l'existant, et les solutions techniques utilisées dépendent de la région et du climat ; elle ne pose donc pas de difficulté dans l'environnement d'origine. En revanche, le

---

[68] G. Henderson, *Standard Assessment Procedure, National Home energy rating*, *BELAS Mechanisms for energy labelling of existing buildings*, Country report, United Kingdom, 2000.

[69] Ademe/énergie-cités, *Mesure des performances énergétiques des collectivités*, janvier 2003, 7 p.

[70] Voir annexe 2.

fait que ce label s'appuie sur des normes d'efficacité énergétique liées à des produits ou équipements du pays d'origine exige, si l'on veut transférer ce label dans d'autres pays, de transporter les produits et les équipements ensemble. Ailleurs, la certification LEED étant très souvent portée par la maîtrise d'ouvrage, avec l'application de la procédure de Commissioning dès la phase de conception (assurance qualité), cette procédure permet de réduire les problèmes de mise en œuvre sur le site [Ademe-PUCA-CSTB, 2007][71] et d'assurer la qualité des constructions.

La mise en œuvre de ce label est applicable dans tous les environnements extérieurs. Les architectes/ingénieurs conçoivent donc l'enveloppe et les systèmes techniques, de manière à atteindre les exigences minimales de certification. Le système de points accordés lorsque les projets respectent ou dépassent les exigences techniques propres à chacune des cinq catégories doit évoluer constamment dans le sens de la réglementation, afin de pousser aux économies d'énergie.

La démarche d'évaluation de ce label se décompose en trois étapes : 1) enregistrer le projet auprès de l'USGBC ; 2) mettre à disposition le support technique et l'accès à la banque pour suivre le projet en phase d'exécution : la certification du bâtiment sera accordée par l'USGBC aux projets s'ils atteignent les critères de performance relatifs à cinq catégories : aménagement écologique des sites, gestion efficace de l'eau, énergie et atmosphère, matériaux et ressources, qualité des environnements intérieurs ; 3) une plaque de label sera apposée sur le bâtiment. On distingue quatre niveaux de certification : certifié (26-32 points), argent (33-38 points), or (39-51 points) et platine (52 points et plus).

Selon une étude portant sur 33 projets, le surcoût de la certification est en moyenne de 2 % par rapport à un bâtiment respectant uniquement les normes environnementales de construction [PREBAT, 2007][72], avec une réduction moyenne de 28 % de la consommation énergétique. C'est un succès économique qui justifie le transfert de ce label.

2.3. La démarche Minergie (Suisse)

Ce label, créé en Suisse en 1996, comporte trois volets : Minergie, Minergie P (Passif) et Minergie-Eco (Minergie avec éco matériaux et prise en compte du volet santé). L'organisme de gestion de ce label est l'association Minergie (AMI). Le label a adopté une approche mixte système/produits (plutôt basée sur le volet Minergie-Eco) et une clé d'entrée fortement axée sur la cible énergie. L'objectif central du label est la baisse de consommation d'énergie d'un facteur 3 par rapport aux bâtiments traditionnels.

L'adaptation Minergie-P est équivalente dans la formulation des exigences au standard Maison passive.

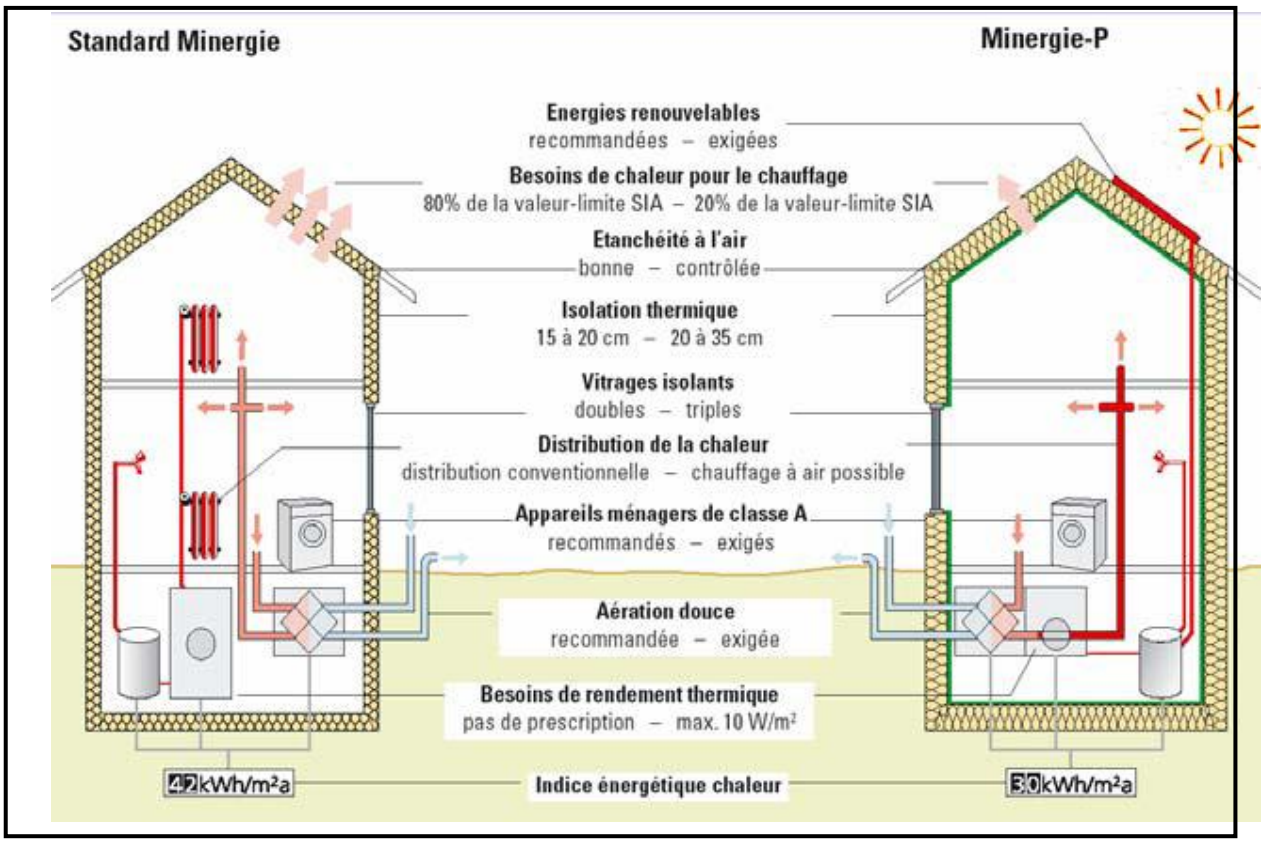
La méthodologie d'évaluation de ce label est simple : demande d'inscription durant la phase de conception du projet via un formulaire au format Excel disponible sur le site www.minergie.ch; puis guidage de l'utilisateur par toute une série de valeurs d'expérience, notamment pour la production de chaleur et les rendements des ventilations à double flux, etc. Une certification provisoire est accordée après vérification du bâtiment examiné en phase APS. Le niveau de certification (Minergie, Minergie-P ou Minergie-Eco) est délivré à la fin de la construction par l'AMI.

---

[71] PREBAT, Comparaison internationale Bâtiment et Énergie, décembre 2007, Ademe-PUCA-CSTB, annexe B. p117.

[72] PREBAT, *Comparaison internationale Bâtiment et Énergie*, décembre 2007, Ademe-PUCA-CSTB, annexe , p114.

Figure 4.2 : Schéma de principe d'un bâtiment Minergie – Minergie-P[73]



Les faibles valeurs en dépenses énergétiques maximums (42 kWh/m²/an de SHON pour les constructions neuves), dans ce label, montrent l'importance qu'il y a à appliquer des exigences énergétiques sévères pour pouvoir obtenir la certification. La maison Minergie-R se caractérise par une enveloppe performante pour l'isolation thermique et l'étanchéité à l'air, en respectant les valeurs limites du coefficient U (W/m^2K) et des ponts thermiques définis par la norme SIA 380/1. Le rapport entre surface des fenêtres (à double vitrage) et surface de référence énergétique ne doit pas être supérieur à 0,3. La haute étanchéité à l'air présuppose une installation de ventilation à double flux, avec récupération de chaleur sur l'air vicié extrait. Les solutions techniques envisagées pour produire et distribuer la chaleur sont les PAC (air/eau), le chauffage au bois automatique ou les capteurs solaires avec réutilisation des rejets de chaleur. La prise en compte du confort d'été, dans ce label, n'est traitée qu'en matière de consommation énergétique ; la consommation énergétique des climatisations des locaux doit donc être comprise dans la valeur limite.

L'absence de critère de confort d'été, la négligence de la localisation géographique et l'obligation d'utiliser une ventilation à double flux avec récupération de chaleur posent problème pour étendre ce label en zone Méditerranée.

2.4. La démarche Passiv'Haus (Allemagne)

Ce label (dont le nom signifie : « Maison passive ») a été créé en 1996 par le Dr Wolfgang Feist. Essentiellement basé sur la performance énergétique, il est conçu autour d'une approche intégrée. L'organisme de gestion est Passiv'Haus Institut Darmstad. Rappelons que les

[73] Source : www.minergie.ch.

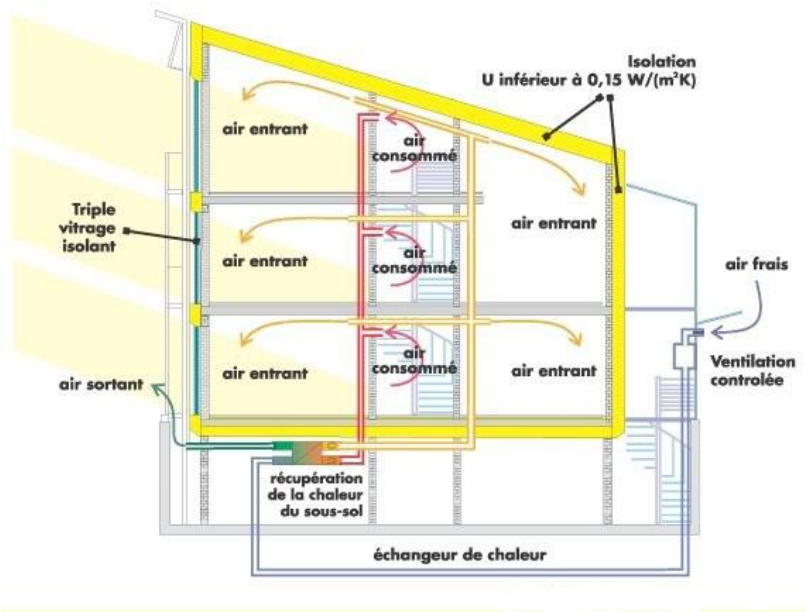
maisons préfabriquées connaissent un essor important sur le marché allemand, les constructeurs basant leur argumentaire commercial sur la dimension énergétique.

Les techniques de construction utilisées sous ce label sont basées sur des concepts d'architecture bioclimatique pour l'enveloppe, donc des formes compactes, avec des fenêtres orientées vers le sud, des espaces tampons pour les parties nord de la maison, un système de chauffage collectif à eau chaude avec des chaudières à condensation et une PAC (pompe à chaleur), ainsi qu'une forte utilisation des solaires thermique et photovoltaïque. La Maison passive a pour concept de minimiser les déperditions thermiques dans le bâtiment, avec la plus grande étanchéité à l'air possible, en utilisant de façon optimale l'énergie apportée par le soleil. Cela sous-entend l'emploi d'une isolation très poussée, en respectant les valeurs limites des coefficients U (W/m^2K) pour les fenêtres et autres éléments de l'enveloppe, et en traitant tous les ponts thermiques de l'enveloppe au moyen d'une ventilation avec récupération de chaleur.

La méthodologie pour obtenir la certification se déroule en quatre étapes : 1) enregistrement du projet auprès de l'Institut de Passiv'Haus via un formulaire disponible sur leur site Internet ; 2) prévérification du bâtiment examiné à l'aide du logiciel PHPP de l'Institut, en phase APS/APD ; 3) test d'étanchéité lors de l'achèvement des travaux ; 4) délivrance de la certification définitive par l'Institut Darmstad. Le niveau de certification est tout ou rien pour le bâtiment étudié.

Si ce label intègre bien la consommation du refroidissement, l'absence de critère pour le confort d'été, la non prise en compte de la localisation géographique – les calculs de consommation énergétique sont faits en utilisant les mêmes données climatiques pour toute l'Allemagne – et le surcoût élevé pour les bâtiments Passiv'Haus (150 à 250 €/m^2) montrent néanmoins qu'une extension de ce label dans un environnement méditerranéen serait difficile, d'autant plus pour le test d'étanchéité, qui est totalement inconnu dans notre ville.

Figure 4.3 : Schéma de principe d'un bâtiment Passiv'Haus[74]



Notons que les bâtiments Passiv'Haus se caractérisent par une consommation tout usage en énergie primaire inférieure à 120 kWh/m^2/an. Cette consommation inclut non seulement les

[74] Source : http://www.passivehouse.com.

usages énergétiques de confort mais tous les autres postes de consommation d'électricité spécifique.

2.5. L'ordonnance solaire thermique, OST (Barcelone, Espagne)

L'OST de Barcelone, entrée en vigueur en 2000, établit une couverture solaire minimale des besoins en eau chaude sanitaire (ECS) dans certains bâtiments. Elle a été révisée en 2006 pour élargir sa portée. L'OST des premières versions concernait tous les bâtiments neufs et quelques réhabilitations. La révision de 2006 a élargi les types d'usage concernés à tous les bâtiments où l'on consomme de l'eau chaude sanitaire. De plus, il était seulement exigé la mise en place de capteurs solaires thermiques pour des consommations supérieures à 81 kWh/j en moyenne pour le chauffage de l'ECS. Aujourd'hui, cette exigence s'étend à tous les bâtiments, à hauteur de leur consommation énergétique pour le chauffage de l'ECS. La mise à jour de l'ordonnance solaire thermique de 2006 devient donc plus exigeante.

Il faut savoir que l'Espagne est un État fédéral. Dans les faits, la Catalogne et la ville de Barcelone sont donc habilitées à établir leurs propres lois. Ce système donne par nature une autonomie dans la création d'un texte réglementaire comme l'ordonnance solaire thermique, ainsi que le pouvoir et les moyens de le faire appliquer, tout en respectant l'application de la norme nationale, dite « CTE ».

2.5.1. Le code technique de la construction (CTE)

Les exigences énergétiques selon le CTE[75] – au nombre de quatre – sont basées sur la limitation des besoins énergétiques des bâtiments (neufs et réhabilités) sans imposer de limites chiffrées. Deux démarches sont proposées : une *méthode simplifiée*, qui s'appuie sur le contrôle indirect des besoins énergétiques à travers la limitation des paramètres caractéristiques de l'enveloppe (facteur solaire, inertie, perméabilité à l'air…) et une *méthode générale*, reposant sur l'évaluation des besoins énergétiques par comparaison avec un bâtiment de référence, modélisée grâce au logiciel Lider.

- La première exigence concerne l'enveloppe du bâtiment : c'est la limitation de la consommation énergétique par des critères architecturaux (exposition, taille des ouvertures…) et des critères structuraux (inertie, résistance thermique des parois…). Les limites pour les coefficients de déperdition thermique de l'enveloppe ainsi que pour les facteurs solaires des vitrages sont établies en fonction de la zone climatique en Espagne.
- La deuxième exigence concerne la limitation de la consommation énergétique de l'éclairage par des systèmes performants : ouvertures adéquates, luminaires peu consommateurs en énergie et dimensionnés selon les besoins réels d'éclairage, avec un système de régulation permettant d'optimiser l'apport en lumière naturelle.

[75] CTE, Código Técnico de la Edificación -Ministerio de la Vivienda, mars 2006.

Figure 4.4 : Limites pour les coefficients de déperdition thermique de l'enveloppe et les facteurs solaires des vitrages (W/m².K)[76]

Zones climatiques	A3	A4	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	E1
Murs	0,94	0,94	0,82	0,82	0,73	0,73	0,73	0,73	0,66	0,66	0,66	0,57
Planchers	0,53	0,53	0,52	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,49	0,49	0,49	0,48
Toiture	0,5	0,5	0,45	0,45	0,41	0,41	0,41	0,41	0,38	0,38	0,38	0,35
Facteur solaire vitrage	0,29	0,29	0,3	0,3	0 ,37	0,32	0,28	0,27	0,36	0,31	0,28	0,36

Les bâtiments doivent donc être équipés de systèmes d'éclairage en adéquation avec les besoins des usagers. Les installations comprennent un système de contrôle permettant d'ajuster l'éclairage en fonction de l'occupation réelle des zones, ainsi qu'un système de régulation destiné à optimiser l'utilisation de la lumière naturelle.

- Troisième exigence : mettre en place une couverture solaire thermique minimale des besoins énergétiques en eau chaude sanitaire (ECS), par l'installation de capteurs solaires thermiques basse température. En d'autres termes, les bâtiments doivent être munis d'une installation thermique appropriée, qui permette d'apporter un confort thermique satisfaisant tout en régulant le rendement thermique : il s'agit de couvrir 60 % minimum de la demande en ECS, avec une contribution plus grande lorsque la consommation d'ECS dépasse 10 000 l/jour ou que le système d'appoint est électrique. La demande en ECS est calculée selon des tables de consommation types, en fonction de la destination du bâtiment et d'un indicateur caractéristique de sa taille.
- La quatrième et dernière exigence est de mettre en place une contribution solaire photovoltaïque minimale (capteurs) pour certains bâtiments.

Signalons que la variante espagnole concerne un territoire et impose à toute construction neuve ou réhabilitation d'une certaine importance l'utilisation de l'énergie solaire pour la production d'eau chaude. Initiée à Barcelone, l'expérience est en cours d'extension à toute l'Espagne. Ce modèle est centré sur les usages spécifiques de l'électricité assurée par le photovoltaïque et sur la production solaire d'eau chaude sanitaire. Il ne se préoccupe pas ou peu des consommations en chauffage, qui ne constituent pas un problème essentiel sous les climats chauds. La cohérence de ce modèle, dans la perspective « basse consommation », dépend de la qualité de l'isolation des bâtiments. Sa force est la production locale d'énergie d'origine solaire, intéressante pour un climat de type méditerranéen.

Bien que le code CET prenne en compte la localisation géographique, il est limité aux zones climatiques espagnoles et ne traite que les coefficients de déperdition de l'enveloppe, sans considérer le confort d'été et le refroidissement, avec un coût élevé des panneaux solaires photovoltaïques. Ces raisons montrent les difficultés d'étendre le label espagnol vers la région Est-Méditerranée.

[76] Alienor, *Étude préalable, démarche de performance pour les constructions soumises au climat atlantique ; Adaptabilité des labels existants « Basse Énergie » ; Préparation technique d'un appel à projet aquitain*, 2007, 44 p.

3. Les démarches énergétiques en France (HQE et règlements thermiques)

Avant de parler des labels énergétiques en France, il est utile, premièrement, de rappeler les démarches de construction dites « de haute qualité environnementale » et d'éclairer la place de l'efficacité énergétique dans les HQE ; deuxièmement, d'aborder les principes et exigences des réglementations thermiques pour mieux comprendre les exigences des labels liés.

3.1. La démarche HQE

Elle a été créée en France en 1996, avec un référentiel comportant 14 cibles. Elle recommande la prise en compte de l'environnement *à toutes les étapes* de l'élaboration et de la vie des bâtiments (conception, matériaux, construction, vie, réhabilitation, rénovation…). Elle permet de labelliser et de certifier les bâtiments, de vérifier l'application des technologies ayant le moins d'impact sur l'environnement (les plus faibles émissions de CO_2) et l'utilisation de sources alternatives d'énergie pour la meilleure efficacité énergétique. La HQE[77] est une démarche de management de projet visant à maîtriser les impacts d'une opération de construction sur l'environnement. Elle est caractérisée par 5 référentiels (textes de référence ou cahiers des charges) :

- définition formelle de la qualité environnementale du bâtiment (QEB) ;
- définition exigentielle de la QEB : 14 exigences cibles ;
- définition explicite de la QEB avec le référentiel DEQE ;
- définition du système de management d'opération (SMO) ;
- référentiel du Centre scientifique et technique du bâtiment.

Cette démarche est caractérisée par les éléments de la certification, du référentiel et des exigences qui sont présentés dans les tableaux suivants.

La démarche HQE adopte une position originale sur les approches énergétiques de la « maîtrise des consommations de chauffage », soit la cible 4 du label. Cette cible doit

> *« obligatoirement être atteinte à un niveau performant ou très performant, pour les bâtiments ou parties de bâtiments ayant l'obligation de respecter la réglementation thermique en vigueur (aujourd'hui RT2012). Dans les autres cas, on pourra se contenter de l'atteinte du niveau bas ».*

Les niveaux peuvent aller de la haute performance énergétique (HPE) au bâtiment à énergie positive (Certivea, 2008).

Afin de mieux évaluer cette démarche en matière énergétique, nous allons présenter l'historique des règlements thermiques français, en éclairant leurs exigences et leurs critères.

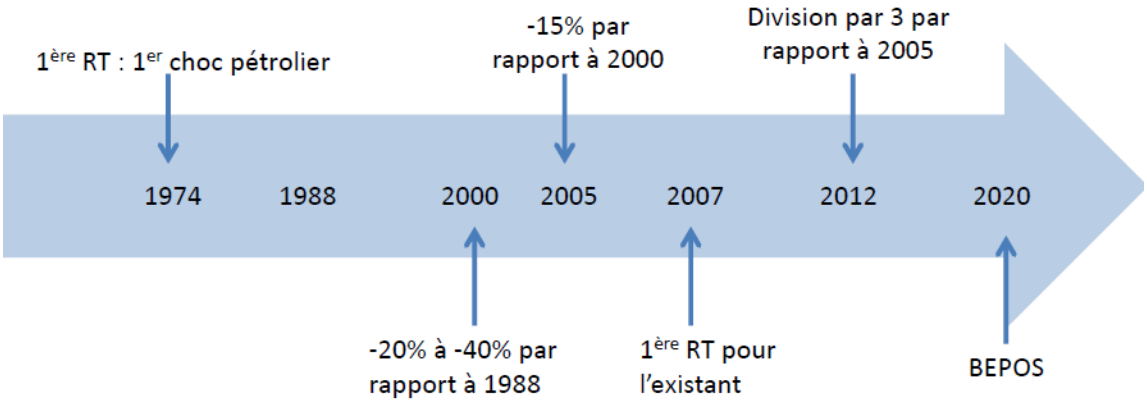
3.2. Les réglementations thermiques françaises

La première réglementation thermique des bâtiments en France (RT) est apparue en 1974, suite au premier choc pétrolier (1973). Intéressant les bâtiments neufs d'habitation, elle a pour objectif la réduction de 25 % de la consommation énergétique des bâtiments par rapport aux

[77] Catherine Charlot-Valdieu et Philippe Outrequin, *L'Urbanisme durable. Concevoir un écoquartier*, Paris, Éditions du Moniteur, 2009, p. 84.

constructions antérieures, en introduisant la notion d'isolation des parois, un coefficient de transmission thermique K mesurant la quantité d'énergie qui s'échappe à travers les parois avec un modèle de calcul spécifique. Elle prend en compte également les déperditions de chaleur liées au renouvellement de l'air intérieur, exprimées par le coefficient G (W/m^3. °K).

Figure 4.5 : Échelle chronologique des réglementations thermiques françaises



En 1982, la deuxième RT vise un nouveau gain de 20 % sur la consommation énergétique par rapport à la précédente réglementation, à travers un renforcement des contraintes qui concernent les déperditions de chaleur G, avec un nouveau coefficient B, les besoins en chauffage, pour mesurer les besoins annuels en chauffage en tenant en compte des apports intérieur et extérieur, « apport solaire par les surfaces vitrées ».

La troisième réglementation thermique date de 1988 et s'applique aux bâtiments résidentiels et non résidentiels, en adaptant les choix techniques à l'objectif fixé, soit un nouveau coefficient C calculant l'ensemble des besoins en chauffage et eau chaude sanitaire, compte tenu du rendement des équipements ; climatisation et équipements de ventilation sont pris en compte dans les bâtiments non résidentiels.

Douze ans après, la RT2000 vise une réduction de 20 % de la consommation maximale des logements par rapport à la réglementation de 1988, et une baisse de 40 % pour la consommation des bâtiments tertiaires. C'est la première fois que le règlement français prend en compte le confort d'été, basé sur des températures maximales à respecter dans les bâtiments non climatisés, en intégrant à la fois la possibilité d'ouvrir les fenêtres, l'inertie thermique et la protection solaire. A ainsi été mise en place une carte des zones climatiques pour la France. Figure 4.6 :

Figure 4.6 : Découpage géographique en trois zones selon les conditions climatiques – RT2000 et RT2005

Les constructeurs doivent, dès lors, respecter les performances énergétiques des équipements consommateurs d'énergie, comme le chauffage, l'ECS, la climatisation ou

l'éclairage. La RT2000 impose des garde-fous et des références aux systèmes et aux produits, comme des valeurs maximales, U_{paroi} (W/m².K), et minimales, R_{paroi} (m².K/W).

La cinquième réglementation thermique, de 2005, vise une amélioration de 15 % de la consommation énergétique des bâtiments par rapport à la RT2000, en gardant le même principe d'imposer des garde-fous et des références aux systèmes et aux produits.

En ce qui concerne l'enveloppe, la RT2005 renforce les exigences existantes et en impose de nouvelles (U_{paroi} et R_{paroi}), avec une limitation du coefficient de déperdition par les parois et les baies du bâtiment $U_{bât}$, qui ne peut pas excéder le coefficient maximal $U_{bât\ max}$. Ce coefficient $U_{bât\ max}$ est déterminé en fonction de l'usage du bâtiment et du coefficient de déperdition par les parois et baies du bâtiment $U_{bât\ base}$:

Tableau 4.1 : Coefficient $U_{bât\ max}$ en fonction du type de construction

Types de construction	Valeur $U_{bât\ max}$ par rapport à $U_{bât\ base}$
Maison individuelle	$U_{bât\ base}$ * 1,2
Autres bâtiments d'habitation	$U_{bât\ base}$ * 1,25
Bâtiments tertiaires	$U_{bât\ base}$ * 1,5

La méthode de calcul du coefficient $U_{bât\ base}$ est identique à $U_{bât\ réf}$, à la seule différence qu'il faut prendre en compte les surfaces exactes de vitrage du projet et non celles de référence. Les valeurs de référence des coefficients de transmission thermique sont aussi augmentées par rapport à la RT2000, en vue d'atteindre :

(I) un renforcement de 10 % de la performance des parois, cela en intégrant toutes les techniques de construction ayant un impact positif sur la maîtrise d'énergie en hiver comme en été ;

Tableau 4.2 : Les valeurs de référence des parois sont exprimées par les coefficients de transmission thermique a1 à a7, exprimés en W/m². K[78]

Parois	RT 2000		RT 2005	
	Zones H1 et H2	Zone H3	Zones H1, H2 et H3 (> 800m)	Zone H3 (≤ 800m)
Murs en contact avec l'extérieur (a1)	0,40	0,47	0,36	0,40
Combles et rampants (a2)	0,23	0,30	0,20	0,25
Toitures terrasses (a3)	0,30	0,30	0,27	0,27
Planchers bas (a4)	0,30	0,43	0,27	0,36
Portes (a5)	1,50	1,50	1,50	1,50
Fenêtres et portes-fenêtres (a6)*	2,40	2,60	2,10	2,30
Fenêtres et portes-fenêtres équipées de fermeture (a7)	2,00	2,35	1,80	2,10

(II) une diminution de 20 % des pertes par ponts thermiques linéiques, comme le montre le tableau suivant :

[78] Source : http://www.afipeb.org.

Tableau 4.3 : Les valeurs de référence des ponts thermiques sont exprimées par les coefficients de transmission thermique linéique a8, a9, a10, exprimés en w/m.K[79]

Zones H1, H2 et H3				
Ponts thermiques	**RT 2000**		**RT 2005**	
Planchers bas / murs (a8)	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,50 0,50 -	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,40 0,40 0,40
Planchers intermédiaires sous combles / murs (a9)*	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,70 0,90 0,90	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,55 0,60 0,60
Toitures terrasses / murs (a10)*	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,70 0,90 0,90	Maisons individuelles : Logements collectifs : Autres bâtiments :	0,50 0,60 0,60

Le renforcement de l'enveloppe du bâti dans la RT2005 s'est accompagné d'un renforcement des équipements, avec une exigence supplémentaire relative à l'eau chaude sanitaire, une pénalisation étant portée sur les bâtiments résidentiels qui ne disposent pas d'eau chaude sanitaire solaire.

En ce qui concerne le confort d'été, la RT2005 définit deux catégories de locaux, CE1 et CE2, correspondant au système de climatisation. On peut donc considérer tous les locaux comme de catégorie CE1, sauf si le bâtiment est muni d'un système de climatisation et si l'une des conditions suivantes est présente :

- le bâtiment est à usage d'habitation ou d'enseignement, ses baies sont exposées au bruit BR2 ou BR3 et il est situé dans une zone climatique H2d ou H3, à une altitude inférieure à 400 m ;
- le bâtiment est à usage de bureaux et ses baies, exposées au bruit BR2 ou BR3, ne sont pas ouvrables ;
- le bâtiment est à usage de bureaux et situé soit en zone climatique H1c ou H2c, à une altitude inférieure à 400 m, soit en zone climatique H2d ou H3, à une altitude inférieure à 800 m.

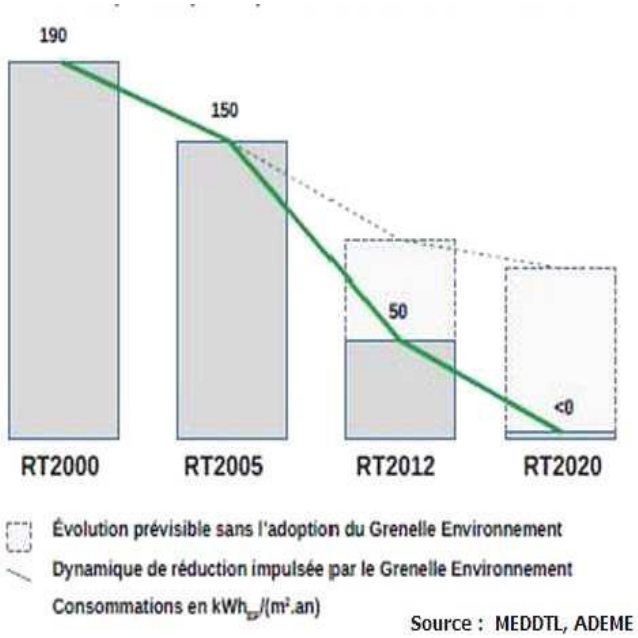
3.3. Directive européenne EPBD, Grenelle-Environnement et RT2012

Pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et améliorer l'indépendance énergétique de l'Europe, la directive européenne concernant l'efficacité énergétique globale des bâtiments (EPDB) demande à tous les États européens de formuler des standards nationaux, avec pour perspective d'ambitieux objectifs en matière d'économie sur les consommations énergétiques globales des bâtiments. Le Grenelle de l'environnement en France fixe des objectifs à réaliser d'ici à 2050, en divisant par quatre les émissions de gaz à effet de serre.

Dans ce contexte, la RT2012 vise à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels et tertiaires, en divisant par trois la consommation énergétique des bâtiments neufs par rapport à la réglementation thermique de 2000, et à produire, en 2020, des bâtiments à énergie positive. La figure 4.7 montre l'évolution des exigences des règlements thermiques en France.

[79] Source : http://www.afipeb.org.

Figure 4.7 : Consommation énergétique dans le neuf. La dynamique de Grenelle [avec et sans l'adoption du Grenelle Environnement][80]



La RT2012 offre une plus grande liberté dans la conception des bâtiments, en permettant d'optimiser l'isolation de l'enveloppe comme la performance des équipements. Les aspects bioclimatiques du projet font qu'un nouveau coefficient (B_{bio}) remplace l'$U_{Bât}$ qui avait cours dans la RT2005, avec de nouvelles méthodes de calcul[81] intégrant des critères qui ne sont plus obligatoires en termes d'application réglementaire, mais bien compris dans les calculs. Ainsi, des échanges entre architectes et bureaux d'études thermiques seront indispensables dès la phase de conception d'un bâtiment.

3.3.1. Les exigences de résultats quant aux performances énergétiques (2012)

Trois exigences de résultats sont imposées par la RT2012, qui reprennent les principales directives du label BBC Effinergie en se focalisant sur la performance globale du bâtiment[82].

3.3.1.1. $Bbio_{max}$, exigence sur l'efficacité énergétique du bâti ou le besoin bioclimatique

Le Bbio est un indicateur de l'efficacité énergétique du bâti en phase APS. Ce nouveau coefficient – unique en Europe – sans unité mais composé de nombreux points de mesure (besoins en chauffage, refroidissement, éclairage…), indépendamment des systèmes, valorise les conceptions bioclimatiques comme : l'orientation, la surface vitrée, la mitoyenneté et l'isolation. Toutes ces composantes peuvent être prises en compte au stade de la conception du bâti par la maîtrise d'œuvre, afin de ne pas dépasser le $Bbio_{max}$: celui-ci définit la limitation des besoins en énergie pour le chauffage, le refroidissement et l'éclairage ; c'est donc une conception optimisée et plus performante pour l'enveloppe. Le coefficient $Bbio_{max}$ d'un projet est calculé comme suit :

$$Bbio_{max} = Bbio_{max\ moyen} * (M_{bgéo} + M_{batl} + M_{bsurf})$$

[80] Grenelle de l'Environnement, 2011.

[81] (I) Inertie ; (II) Ventilation en habitation ; (III) Consommations de chauffage ; refroidissement, ECS ; (IV) Éclairage ; (V) Valeurs de référence pour les caractéristiques thermiques (mis à part les seuils fixant les déperditions thermiques maximales).

[82] MEDDTL : ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

où :

$Bbio_{max\ moyen}$ est une valeur moyenne définie par type d'occupation et par catégorie CE1/CE2 ;

$M_{bgéo}$ est le coefficient de modulation selon la localisation géographique ;

M_{batl} représente le coefficient de modulation selon l'altitude ;

M_{bsurf} est, pour les maisons individuelles ou accolées, le coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou d'une partie du bâtiment.

Notons que les caractéristiques prises en considération dans le calcul du Bbio sont :

- ✓ les déperditions surfaciques et linéiques des parois opaques ;
- ✓ les déperditions par les baies ;
- ✓ l'inertie ;
- ✓ les apports solaires ;
- ✓ l'impact des protections solaires et de leur mode de gestion ;
- ✓ les scénarios d'occupation (conventionnelle) et apports internes dus aux occupants ;
- ✓ les autres apports internes ;
- ✓ les apports par des dispositifs passifs non séparables du bâti (serres, vérandas…) ;
- ✓ les infiltrations d'air par les défauts de perméabilité de l'enveloppe ;
- ✓ les déperditions par renouvellement d'air ;
- ✓ l'accès à l'éclairage naturel des locaux.

3.3.1.2. $C_{ep\ max}$: l'exigence de consommation maximale en énergie primaire

Ce deuxième type d'exigence posée par la réglementation thermique de 2012 concerne les équipements énergétiques et leurs performances dans le bâti. Elle porte sur les consommations énergétiques conventionnelles en énergie primaire, selon cinq usages : chauffage, ESC, refroidissement, éclairage, auxiliaires (tels que pompes et ventilateurs) avec une déduction faite de la production d'électricité à demeure.

Le $C_{ep\ max}$ est modulé selon les émissions de gaz à effet de serre, afin d'encourager l'utilisation des énergies les moins émettrices de CO_2, à savoir le bois-énergie et les réseaux de chaleur ou de froid utilisant une part prépondérante d'énergies renouvelables.

En moyenne, la valeur de $C_{ep\ max}$ s'élève à 50 $kWh_{ep}/(m^2.an)$ d'énergie primaire, et comme pour le $Bbio_{max}$, des modulations sont introduites dans le $C_{ep\ max}$ selon la localisation géographique, l'altitude, le type d'usage du bâtiment, la surface moyenne des logements et les émissions de gaz à effet de serre pour le bois-énergie et les réseaux de chaleur les moins producteurs de CO_2.

La consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire, ou $C_{ep\ max}$, est définie comme suit :

$$C_{ep\ max} = 50 * M_{ctype} * (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{csuf} + M_{cGES})$$

où :

M_{ctype} représente le coefficient de modulation selon le type de bâtiment ou d'une partie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2 ;

$M_{cgéo}$ est le coefficient de modulation selon la localisation géographique ;

M_{calt} est le coefficient de modulation selon l'altitude ;

M_{csuf} est, pour les maisons individuelles ou accolées et les bâtiments collectifs d'habitation, le coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment ou d'une partie du bâtiment.

M_{cGES} représente le coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre des énergies utilisées, pour le bois-énergie et les réseaux de chaleur et de froid faiblement émetteurs en CO_2.

3.3.1.3. T_{ic} : l'exigence de confort d'été dans les bâtiments non climatisés

À l'instar de la RT2005, la réglementation thermique de 2012 définit des catégories de bâtiments dans lesquels il est possible d'assurer un bon niveau de confort en été sans avoir à recourir à un système actif de refroidissement. Ces catégories (CE1 et CE2) dépendent du type d'occupation et de la localisation (zone climatique, altitude, proximité de zones de bruit). Pour ces bâtiments, la réglementation impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux, au cours d'une séquence de cinq jours très chauds d'été, n'excède pas un certain seuil. Un transfert de ce critère à la zone Est-Méditerranée sera discuté au chapitre 6.

3.3.2. Les exigences de moyens

Elles sont, dans la RT2012, au nombre de cinq.

3.3.2.1. Utilisation d'énergie renouvelable

Article 16 :

> *« Toutes les maisons individuelles ou accolées recourent à une source d'énergie renouvelable ».*

C'est donc le rôle du maître d'ouvrage de mettre en place une solution d'ER :

- ✓ soit l'eau chaude sanitaire solaire thermique, alors le logement est équipé *a minima* de 2 m² de capteurs solaires permettant d'assurer la production de l'ECS ;
- ✓ soit raccordement à un RCU alimenté à plus de 50 % par une ENR de récupération ;
- ✓ soit démontrer que le coefficient C_{ep} comprend au moins 5 kWhep/m² produits par une source d'ENR ;
- ✓ soit recourir à production d'ECS par appareil électrique individuel de production d'eau chaude thermodynamique, avec un COP > 2 ;
- ✓ soit, enfin, recourir à la production de chauffage et/ou d'ECS par une chaudière à micro-cogénération à combustible liquide ou gazeux.

3.3.2.2. Ratio de vitrage, ouverture

Pour assurer l'accès à l'éclairage naturel en habitation, une condition sera appliquée entre la surface totale des baies et la surface habitable :

Surface totale des baies ≥ 1/6 de la surface habitable

En ce qui concerne le confort d'été – soit une limitation sur le facteur solaire des baies et une obligation de surface ouvrante minimale –, l'article 21 fixe des facteurs solaires maximums pour les baies. Les baies de tout local destiné au sommeil et de catégorie CE1 devront être équipées de protections solaires mobiles, de façon à ce que le facteur solaire des baies soit inférieur à un seuil allant de 0,1 à 0,65 selon leur position et leur exposition.

3.3.2.3. Traitement des ponts thermiques

Il y a une obligation de traitement des ponts thermiques pour limiter les longueurs et leurs valeurs. Les articles 18 et 19 de la RT2012 stipulent :

> *« les parois séparant des parties de bâtiment à occupation continue de parties de bâtiments à occupation discontinue doivent présenter un coefficient de transmission thermique, U, tel que défini dans la méthode TH-BCE 2012, qui ne peut excéder 0,36 W/(m².K) en valeur moyenne »*
>
> *« le ratio de transmission thermique linéique moyen global, ratio des ponts thermiques du bâtiment, n'excède pas 0,28 W/(m²ShonRT.K) ».*

3.3.2.4. Perméabilité à l'air résidentiel

Il existe deux options :

Option 1. Mesure de perméabilité à l'air, réalisée par des opérateurs autorisés par le ministère en charge de la Construction. La perméabilité mesurée doit être inférieure à 0,6 m^3/h/m² de parois déprédatives, hors plancher bas en maison individuelle (MI) ; 1 m^3/h/m² de parois déprédatives, hors plancher bas en immeuble collectif d'habitation.

Option 2. Application d'une démarche qualité agréée par le ministère en charge de la Construction.

Modalités d'application de cette exigence : en MI, les deux options sont possibles ; en immeuble collectif : option 1 obligatoire jusqu'au 1er janvier 2015 ; au-delà de cette date, les deux options seront possibles.

3.3.2.5. Comptage d'énergie résidentielle

C'est un système à visée pédagogique, à l'adresse des occupants, de comptage (ou d'estimation) de la consommation d'énergie de chaque logement, par type d'énergie : chauffage, refroidissement, ECS, réseau de prises électriques, autres.

La méthodologie d'évaluation de ce label est simple : demande d'inscription à la phase de conception du projet via un formulaire disponible sur le site www.e-rt2012.fr ; une étude thermique complète est effectuée pour vérifier les exigences (Bbio, C_{ep}, T_{ic}), une attestation de prise en compte de la RT2012 sera délivrée pour avoir le permis de construire ; enfin, une fiche de synthèse est à transmettre à un contrôleur indépendant qui éditera l'attestation RT2012 de fin de travaux. Il y a deux niveaux de certification : étude thermique RT2012 *intermédiaire* (Bbio), étude thermique RT2012 *complète* (Bbio, C_{ep} et T_{ic}). Un exemple d'attestation RT2012 à joindre au dépôt du permis de construire figure dans l'annexe 2.

En résumé, nous pouvons dire que les trois exigences principales de la réglementation thermique 2012 sont applicables dans un environnement est-méditerranéen, en raison de :

1. la liberté de choix dans la conception de l'enveloppe, comme la performance des équipements ;
2. le fait d'intégrer les effets des différentes zones climatiques et géographiques dans les calculs ;
3. la prise en compte du critère de confort d'été, déterminant sous les climats chauds ;
4. la facilité et la pertinence de la méthodologie d'évaluation, basée sur des comparaisons de chiffres réglementaires.

Il nous semble que certaines exigences de moyens sont applicables dans l'environnement est-méditerranéen, par exemple : l'ECS solaire, le ratio d'ouverture et le comptage d'énergie

résidentielle. La transposition des critères principaux, comme les exigences de moyens, sera discutée dans le sixième chapitre.

4. Approches comparatives des six labels en matière énergétique

Avant de comparer les critères énergétiques et les détails techniques des labels, il nous paraît utile de présenter quelques notions énergétiques.

4.1. Notions énergétiques

Les exigences énergétiques dans chaque label correspondent aux valeurs calculées selon des règlements adoptés et suivis dans le pays d'origine. Ces valeurs, différentes selon la notion suivie, se déclinent en trois catégories :

- ✓ les types d'énergies comparés ;
- ✓ les surfaces examinées dans les labels ;
- ✓ les taux de renouvellement d'air.

4.1.1. Les types ou thèmes d'énergie

On distingue énergie primaire et énergie finale. L'*énergie finale* est l'énergie disponible pour l'utilisateur ; c'est l'énergie arrivant dans l'habitation avant d'être transformée en énergie utile par les systèmes (exemple : l'électricité disponible à la prise). L'*énergie primaire* est la consommation finale, plus la consommation d'énergie nécessaire pour la production de cette énergie : c'est donc l'énergie réellement consommée, avec une prise en compte de la filière qui est en amont de la production. On peut donc dire que :

l'énergie primaire = l'énergie finale * le facteur caractéristique du vecteur énergétique.

Dans les pays où les statistiques énergétiques sont disponibles, le facteur caractéristique du vecteur énergétique est souvent identifié. Ce coefficient varie d'un pays à l'autre. En France, par exemple, ce facteur pour l'électricité est défini par une valeur de [2,58], c'est-à-dire que 1 KWh d'énergie finale représente [2,58 kWh] d'énergie primaire. En Syrie, nous avons calculé cette valeur, qui est égale à [2,97] (cf. § 1.5.4).

4.1.2. Les surfaces examinées dans les labels

Calculer les surfaces pour mesurer les besoins énergétiques des bâtiments pose souvent des problèmes lorsque l'on n'est pas habitué à le faire. La surface habitable (SHAB) est, néanmoins, plus connue que les autres.

Dans la logique administrative, on trouve deux définitions de surface :

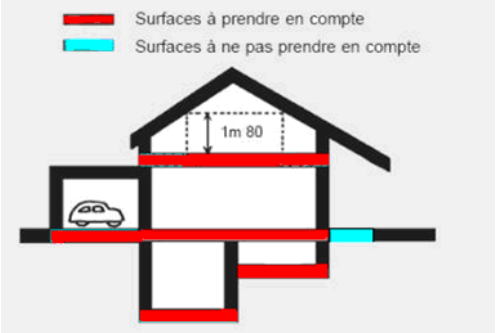
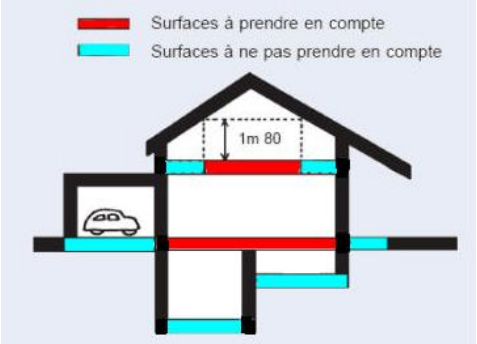
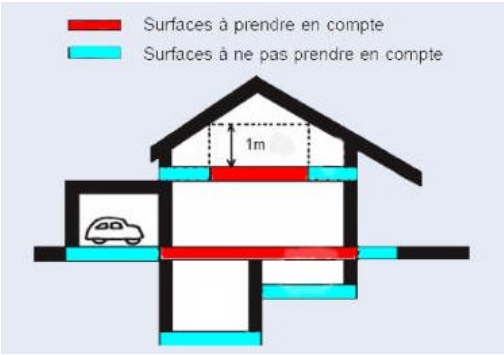
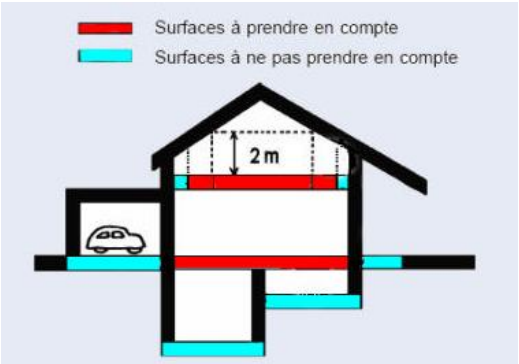
1. La SHOB (surface hors œuvre brute) est la somme des surfaces de plancher de chaque niveau, des surfaces des toitures-terrasses, balcons ou loggias et des surfaces non closes au rez-de-chaussée, auxquelles s'ajoute l'épaisseur des murs et cloisons.
2. La SHON (surface hors œuvre nette) s'obtient en déduisant de la SHOB : a) les surfaces de plancher du sous-sol et des combles non aménageables ; b) les espaces dont la hauteur est inférieure à 180 cm ; c) 5 % de la SHOB, affectés à l'isolation du bâtiment.

La logique énergétique différencie, quant à elle, deux types de surfaces :

1. La SRE (surface de référence énergétique) : c'est la SHOB moins les espaces non isolés et non habitables, et les espaces dont la hauteur est inférieure à 100 cm, avec une pondération pour les hauteurs supérieures à 3 m.

2. La SHAB (surface habitable) est la surface de plancher construite appartenant à la SHON, après déduction des surfaces au sol occupées par les : murs, cloisons, marches, cages d'escalier, gaines techniques, embrasures de portes et de fenêtres, soit les espaces dont la hauteur est inférieure à 1 m, moins également 50 % des espaces dont la hauteur est comprise entre 1 et 2 mètres.

Tableau 4.4 : Les différentes mesures de surfaces entre logique administrative et logique énergétique[83]

Logique administrative	 SHOB (surface hors œuvre brute)	 SHON (surface hors œuvre nette)
Logique énergétique	 SRE (surface de référence énergétique)	 SHAB (surface habitable)

4.1.3. Ventilation des locaux et étanchéité à l'air

Pour assurer une ventilation suffisante d'un local, d'une surface technique ou d'un logement, se pose la question du débit d'air à extraire. En fonction de l'activité dans le local, le taux de renouvellement de l'air peut être très variable. Le débit à assurer par la ventilation est obtenu en multipliant le volume du local à ventiler par le nombre adéquat de renouvellements.

Q (débit en m³/h) = volume local (m³) x nombre de renouvellements/h

Il existe deux normes de mesure de la perméabilité à l'air :

1. I4Q4, unité utilisée m³/(h.m²), est la norme de mesure de perméabilité utilisée dans le référentiel français ; c'est le débit de fuite à 4 Pa, divisé par la surface des parois froides.
2. N50, unité utilisée (vol/h) ou volume par heure, est la norme en vigueur dans les référentiels allemands, suisses et autrichiens ; c'est le débit de fuite à 50 Pa (équivalent à un vent de 30 km/h), divisé par le volume chauffé de l'habitation.

[83] Cd2e, *Document comparatif des labels de performance énergétique*, 25 mars 2009, 12 p.

La conversion entre le débit de fuite français I4Q4 et le débit N50 est le suivant :

- N50 = i4 x 4 (pour les maisons individuelles).
- N50 = i4 x 2 (pour le tertiaire et les logements collectifs).

4.2. Comparaison entre les labels

Chaque label a sa démarche, sa vision ; chacun a des critères, dont le respect est obligatoire ou non, qui ont un poids dans la notation pour la labellisation et la certification. Pour ce qui est de leurs points communs, peu d'études comparatives ont été réalisées entre les différents labels. Deux de ces comparatifs sont les suivants :

- Le rapport *Comparaison internationale Bâtiment et Énergie*, dans le cadre du Programme national de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans les bâtiments : PREBAT (Ademe-PUCA-CSTB, 2007)[84].

  L'objectif de cette étude était de recenser, de sélectionner et d'analyser des opérations très performantes (France, Allemagne, Suisse, Danemark, États-Unis, Japon) et d'en tirer des enseignements en matière de conditions de transfert et de mise en œuvre, à grande échelle, sur le marché français. Elle s'appuyait sur les critères de sélection suivants : bâtiment neuf/existant, secteur de parc couvert entre résidentiel et d'autres, avancée technologique du programme, disponibilité de la technologie, spécificité énergétique des labels et partenaires mobilisables entre public et privé.

- Une étude de comparaison entre 10 labels faite par Jonathan Villot, Natacha Gondran et Valérie Laforest en mars 2011 sous le titre « Labels de la construction : quelle contribution possible au facteur 4 ? »[85].

  Cette étude avait choisi pour base de comparaison cinq dimensions :

  1. changement climatique ;
  2. ressources naturelles ;
  3. habitat et utilisation ;
  4. société ;
  5. économie.

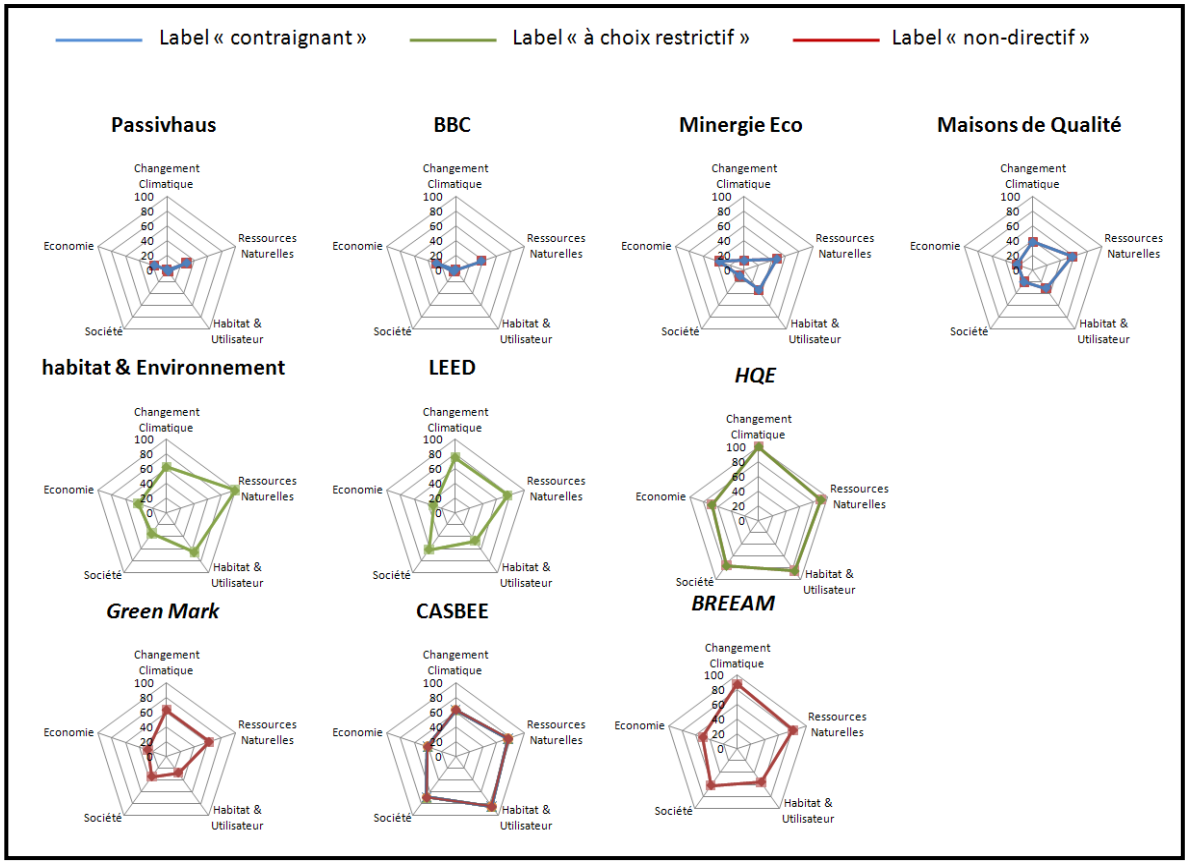
  L'évaluation énergétique de chaque label est incluse dans les dimensions (ressources naturelles et économie). Les critères de ces labels sont aussi différenciés selon leur importance relative. Trois niveaux étaient précisés : a) labels « contraignants » : 100 % de sous-critères obligatoires (fondamentaux) ; b) labels « à choix restrictif » : partage entre des sous-critères pondérés et obligatoires ; c) labels « non directifs » : 100 % de sous-critères pondérés.

---

[84] Ademe-PUCA-CSTB, *Comparaison internationale Bâtiment et Énergie*, décembre 2007.

[85] Jonathan Villot, Natacha Gondran et Valérie Laforest, « Labels de la construction : quelle contribution possible au facteur 4 ? », *Développement durable et Territoires* [En ligne], vol. 2, n° 1, mars 2011, mis en ligne le 7 mars 2011, consulté le 12 février 2013. URL : http://developpementdurable.revues.org/8834 ; DOI : 10.4000/developpementdurable.8834.

Figure 4.8 : Cartographie des labels selon 5 dimensions de développement durable[86]



La figure 4.8 montre que les labels sont divisés en trois catégories : la première englobe la plupart des dimensions (HQE, LEED, BREEAM, CASBEE), la deuxième se focalise sur l'aspect énergétique « ressources naturelles » et « économie » (BBC et Passiv'Haus), la troisième sur l'aspect environnemental (Green Mark, Habitat & Environnement).

Étant donné que les critères des bâtiments à basse consommation sont intéressants pour la question de l'énergie (Passiv'Haus, Minergie, BBC), peu des labels sont adaptés aux exigences que nous avons déterminées en début de chapitre. Pour cette raison, nous allons procéder à une comparaison entre les six labels : RT2005, RT2012, Minergie-R, Passiv'Haus, LEED et OST, afin de cibler les éléments les plus importants en matière d'application énergétique dans l'environnement Est-Méditerranée étudié.

[86] *Ibid.*

Tableau 4.5 : Comparaison générale entre six labels : RT2005, RT2012, Minergie-R, Passiv'Haus, LEED et OST

		RT2005	HQE /RT2012	Minergie	Passiv'Haus	LEED	OST
Logo							
Pays d'origine		**FRANCE**	**FRANCE**	**SUISSE**	**ALLEMAGNE**	**ÉTATS-UNIS**	**ESPAGNE**
Bâtiment résidentiel concerné : neuf/existant		Neuf et existant	Neuf et existant sauf (1)[87]	Neuf et existant	Neuf et existant	Neuf et existant	Neuf et existant
Organisme de certification		CERTTIVEA CEQUAMI PROMOTELEC CERQUAL	CERTTIVEA CEQUAMI PROMOTELEC CERQUAL	Minergie CH - FR	Institue Passiv'Haus de Darmstadt	USGBC	Municipalité de Barcelone
Code de calcul		TH-C-E	TH-BCE	SIA 380/1	EnEv	ASHRAE	CTE
Niveau de performance énergétique pour l'habitat neuf	Énergie primaire	Consommation d'énergie primaire inférieure à 150 kWh EP/m²/an	Consommation d'énergie primaire inférieure à 50 kWh EP/m²/an	standard/éco 38 kWh EP/m²/an standard P-éco Chauffage 15 kWh EP/m²/an	120 kWh EP/m²/an pour toute utilisation. ExigenceChauffage 15 kWh EP/m²/an	Réduction d'énergie consommée 30 à 40 %	Limiter consommation énergétique : enveloppe, éclairage, ECS, PV
Vecteurs énergétiques	Gaz - Fuel	1	1	1	1,1	1,047	-
	Électricité	2,58	2,58	2	2,72	3,43	-
	Bois	0,6	1	0,5 depuis 2010	0,2	1	-
	Solaire TH	0	0	0	0	1	-
	Solaire PV	0	1	2	0,7	1	-
Calcul selon localisation géographique et climatique		Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui
Température consigne hiver		19 °C	19 °C	20 °C	20 °C	24 °C	-
Température consigne été		27 °C	27 °C	-	-	27 °C	-
climatique		**Oui**	**Oui**	**Non**	**Non**	**Non**	**Ok**

[87] Voir les bâtiments exonérés dans la règlement RT2012 .

			RT2005	HQE /RT2012	Minergie	Passiv'Haus	LEED	OST
Limite d'application	Surface de référence		SHON	SHON rt	SRE	SHAB	-	-
	Valeur U maximale ($W/m^2.K$) dans les constructions neuves	Toiture / plafond	0,2	Prise en compte dans le Bbio	0,2	≤ 0,15	0,15	Moyenne 0,425
		Mur	0,45		0,2	≤ 0,16	0,43	Moyenne 0,755
		Sol	0,27		0,2	≤ 0,16	0,55	Moyenne 0,505
		Fenêtre	1,8 à 2,6		1,3	≤ 0,8	2,2	Moyenne 0,325
		Porte			1,6	-	-	-
	Traitement des ponts thermiques		Exigence de moyens	Exigé	Exigé	Exigé	Exigé	-
	Vitrage		Double vitrage	Double vitrage	Triple vitrage	Triple vitrage	-	-
	Surfaces de baies		S ≤ SHAB/6 Pourcentage de vitrages fixé par orientation	S ≥ SHAB/6 Ouverture des baies obligatoire à 30 % minimum par local	Surfaces des fenêtres /Surface brute des planchers chauffés ≤ 0,3	-	-	-
	Inertie thermique		Possibilité de la prendre en compte	Prise en compte dans le Bbio	forte inertie = réduction de l'isolation thermique		-	-
	Perméabilité à l'air (taux de renouvellement d'air exigé) Bâtiment neuf		I4 ≤ 0,6 (m^3/h)/m² (individuel)	I4 ≤ 0,6 (m^3/h)/m² (individuel) I4 ≤ 1 (m^3/h)/m² (collectif)	nL50 ≤ 0,6 vol/heure (tout type)	n50 ≤ 0.6 vol/heure	-	-
	Technique de construction		Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui
	Énergie renouvelable		-	Exigé (capteur solaire thermique)	Exigé	Exigé (capteur solaire thermique ou PAC)	Exigé PV	Exigé (capteur solaire thermique et PV)
	Énergie solaire thermique		-	2 m^2 mini	-	-	-	Exigé
	Énergie solaire photovoltaïque		-	-			Exigé	Exigé
	Aération mécanique		-	-	Exigé	Double flux avec récupération de la chaleur. Efficacité de l'échangeur <0.4(Wh/m^3)	Exigé	-
	Électroménager classe A		-	-	Standard : recommandé Passif : Exigé	Exigé	-	-

		RT2005	HQE /RT2012	Minergie	Passiv'Haus	LEED	OST
	Usages considérés	Chauffage, refroidissement, ECS	Chauffage, refroidissement, ECS, éclairage, auxiliaires	Chauffage, refroidissement, auxiliaires	Chauffage, refroidissement, ECS, éclairage, auxiliaires		
	Usage	Standard	Standard	Standard	Standard	Standard	-
	Facilité de transfert vers un environnement Est-Méditerranée	non	OUI	non	non	OUI	OUI
	Poids des exigences énergétiques	Total	Total	Total	Total	35/110	Total
	Confort d'été	T_{ic}	T_{ic}	-	-	-	-
	Pertinence de la méthode d'évaluation	OK	OK	OK	OK	OK	Non
	Acceptabilité technique et socio-économique	OK	OK	Non	Non	OK	Non

Le tableau 4.5 montre que réaliser une construction économe en énergies reste le souci majeur des six labels. Cette comparaison, en nous appuyant sur les notions et les valeurs techniques, va nous permettre de mieux comprendre les différentes exigences selon les pays d'application.

Ces labels énergétiques sont basés sur un système de comparaison entre le bâtiment étudié et un bâtiment de référence, en prenant en compte les limites des valeurs normalisées pour atteindre les niveaux de performance énergétique déjà mentionnés. Ces niveaux de performance nécessitent de bien déterminer les éléments constituant le bâtiment : isolation de l'enveloppe, minimisation des ponts thermiques, matériaux de construction préférables, choix des systèmes de ventilation, etc., sachant que les comportements réels des occupants et la localisation géographique ne sont pas pris en considération – sauf par les règlements français et espagnol. En conséquence, les résultats des consommations sont davantage un résultat normalisé que une évaluation réaliste.

L'économie en énergie réalisée par ces labels dépend aussi de systèmes conventionnels performants (chaudières, PAC, etc.) ou bien des systèmes productifs d'énergie, comme les panneaux solaires thermiques pour la production de l'ECS et parfois également pour le chauffage (Passiv'Haus), les panneaux photovoltaïques (LEED) et les systèmes de ventilation, qui limitent les pertes de chaleur par renouvellement d'air (ventilation double flux avec récupération de chaleur, Passiv'Haus).

L'objectif de cette comparaison est de choisir un label transportable et acceptable dans l'environnement Est-Méditerranée.

4.2.1. Les limites d'application

4.2.1.1. Limites d'application climatique

Le transfert d'un label hors du pays d'origine oblige à prendre en compte de nouveaux paramètres climatiques et géographiques. Bien que les six labels intègrent l'effet de l'altitude des bâtiments étudiés, nous observons que trois labels fondent leurs calculs énergétiques et thermiques sur la localisation géographique et climatique : les RT2005, RT2012 et le CTE.

Si les RT2005 et 2012 fondent leurs calculs énergétiques sur l'échange thermique entre le bâtiment étudié et le climat dans lequel celui-ci est situé, ces labels restent néanmoins limités au territoire français. Mais étant donné qu'ils retiennent les différents paramètres climatiques dans leurs calculs, nous pouvons chercher les moyens de les transposer à l'est de la Méditerranée.

La prise en considération des zones climatiques dans le label espagnol est employée dans les valeurs des coefficients de déperdition thermique de l'enveloppe, ce qui limite le choix des matériaux de construction, lesquels peuvent être non disponibles dans l'environnement étudié.

4.2.1.2. Limites d'application liées aux techniques de construction

Chaque label impose, d'une façon ou d'une autre, ses propres techniques de construction. Nous avons montré, dans le chapitre précédent (cf. l'enquête de questionnaire 4.3.), les limites des savoir-faire techniques qui nous ont conduit à favoriser les labels qui, en matière de techniques de construction, étaient applicables en Syrie, dans la ville de Tartous.

Pour cette raison, nous trouvons que l'indice Bbio présente une liberté des choix de construction sans obligation majeure pour l'extension du label. Ensuite, l'exigence d'utiliser le double vitrage dans les labels français est acceptable et réalisable dans la ville de Tartous, contrairement à l'exigence des labels Minergie et Passiv'Haus d'utiliser le triple vitrage.

Ailleurs, notre enquête sur les permis de construire à Tartous (cf. chapitre 3 § 2.) montre que le pourcentage des baies vitrées par rapport à la surface des appartements est d'environ 23 %, ce qui est cohérent avec les exigences des labels RT2012 et Minergie.

Pour ce qui est de la perméabilité à l'air, nous observons que cette notion est bien valorisée dans les labels des pays froids (RT, Minergie, Passiv'Haus) et sans précision dans les modèles des pays chauds (LEED, CTE). Nous rappelons que cette notion est totalement absente dans les pratiques et les savoir-faire techniques à Tartous.

4.2.1.3. Limites d'application liées aux équipements techniques

Les systèmes énergétiques (productifs et consommateurs) restent une préoccupation majeure dans chaque label, qui attribue des références ou des valeurs aux systèmes énergétiques certifiés et recommandés selon le pays d'application. Par exemple, le titre V en France prend en compte les systèmes énergétiques innovants qui rentrent dans la logique de la RT2012.

Cette logique pose un problème d'extension des labels vers un environnement étranger, du fait de l'obligation de transporter leurs systèmes certifiés. Dans notre cas d'étude, pour lequel les systèmes de chauffage et de climatisation sont différents (poêles à mazout ou au gaz et radiateurs électriques pour le chauffage, split pour la climatisation), ce problème est résolu.

Ailleurs, nous trouvons que l'exigence d'utiliser des capteurs solaires thermiques, dans tous les labels examinés, est intéressante pour un climat de type est-méditerranéen – contrairement 1) aux capteurs photovoltaïques exigés par les labels LEED et CTE, ce en raison de leur coût élevé et du problème posé par le fait de devoir stocker l'électricité produite ; 2) à l'aération mécanique par une ventilation double flux avec récupération de chaleur exigée par le label Passiv'Haus, compte tenu, cette fois, de l'absence de savoir-faire local. En outre, l'absence d'une classification énergétique des appareils électroménagers sur le marché syrien montre la difficulté de respecter l'exigence des labels Minergie et Passiv'Haus dans notre cas d'étude.

4.2.1.4. Limites d'application liées aux usages

Les objectifs de chaque label sont double : réduire la dépense énergétique, atteindre le niveau de confort souhaité par les occupants. L'extension d'un label dans un environnement est-méditerranéen doit satisfaire tous les types d'usages considérés, à savoir : chauffage, refroidissement, ECS, éclairage, ces types d'usages n'étant pris en compte, en totalité, que dans deux labels : RT2012 et Passiv'Haus.

4.2.2. Possibilité de transposition à un environnement différent de l'environnement d'origine

Chaque label a une structure propre, différente des autres, selon le mode de calcul et le poids des exigences considérées dans l'environnement d'origine. La plus ou moins grande facilité à transporter un label ailleurs dépend, donc, de la possibilité d'appliquer ces exigences, censées répondre à tous les besoins importants du nouvel environnement. Pour ces raisons, nous observons une pertinence de la RT2012, qui semble répondre à toutes les exigences dans la région Est-Méditerranée, avec un mode d'application plutôt aisé et efficace, caractérisé par une approche interactive entre les architectes et les bureaux d'études (structure et énergéticiens) afin d'optimiser les choix de construction (matériaux, système énergétique, modes de construction, etc.). Ce mode d'application évite les problèmes sur site et prend en compte la maintenance prévue.

4.2.3. Poids des exigences énergétiques dans l'évaluation globale

L'analyse de notre comparaison entre les labels choisis montre qu'il existe trois catégories.

4.2.3.1. Les labels basse consommation d'énergie, pour des bâtiments sur isolés

Le label allemand Passiv'Haus est le plus sévère, « l'économie réalisée est de l'ordre de 75 % par rapport à un bâtiment neuf ordinaire », avec suppression du chauffage conventionnel. Le label suisse Minergie est moins sévère : « l'économie réalisée est de l'ordre de 50 % par rapport à un bâtiment neuf ordinaire ». En France, « le Grenelle de l'Environnement prévoit de diviser la consommation énergétique dans les bâtiments par trois, grâce au RT2012 ».

Ces labels correspondent à un faisceau de critères :

- ✓ enveloppe bien isolée, avec une exigence minimum de valeurs U dans tous les labels – sauf RT2012, qui l'intègre dans la valeur de B_{bio} ;
- ✓ ventilation maîtrisée ;
- ✓ gain solaire passif ;
- ✓ recours aux énergies renouvelables ;
- ✓ utilisation d'appareils électroménagers économes.

Il faut signaler que Minergie et Passiv'Haus sont les seuls à imposer une valeur pour l'exigence primaire d'enveloppe, 15 kWh Eu/m²/an pour Passiv'Haus, 60 % de la SIA pour Minergie. La RT2012, quant à elle, exige dans sa valeur Bbio le besoin bioclimatique de bâtiment étudié.

4.2.3.2. Les labels d'économie en production d'énergie

Le label espagnol OST et le label américain LEED sont basés sur la mixité de production de l'électricité par les panneaux photovoltaïques et sur le renforcement de l'isolation dans le bâtiment. Ce modèle est préférable dans les pays chauds, où l'économie de chauffage n'est pas une priorité. L'économie d'énergie réalisée dans le label LEED est de l'ordre de 30 à 35 % par rapport à un immeuble usuel de bureaux. Le label LEED a, sur le plan énergétique, des exigences nettement moins fortes que les labels BBC, RT2012, Passiv'Haus ou Minergie. Dans une perspective de basse consommation, le succès de ce modèle passe par un renforcement de ses exigences énergétiques.

4.2.3.3. Les labels reposant sur le principe « énergie et environnement »

L'énergie est un objectif intégré dans les cibles environnementales (matériaux, eau, confort, etc.). Le label LEED est animé par le souci de construire un cadre de travail sain et confortable plus que de réaliser des économies d'énergie. Le label HQE suit également les mêmes principes dans ses 14 cibles de classification ; en revanche, nous n'avons trouvé aucune exigence environnementale dans les règlements RT2005 et RT2012.

Dans un climat est-méditerranéen, nous cherchons un type de label qui réponde à la fois à l'exigence énergétique en matière de basse consommation d'énergie et qui tire amplement parti de l'énergie solaire, fortement disponible dans cet environnement. Face à ces exigences, les labels RT2012 et LEED nous semblent à privilégier, en particulier parce qu'ils prennent en compte le contexte local qui prévaut en région méditerranéenne.

4.2.4. La prise en compte du confort d'été et du confort d'hiver

Tous les labels étudiés mettent l'accent sur le chauffage et le confort d'hiver, en raison de la nature du climat « froid » dominant dans les pays d'origine de ces labels (Suisse pour Minergie, Allemagne pour Passiv'haus et France pour RT2012). Bien que, dans le cas des autres labels, le climat des pays d'origine soit chaud, le critère de confort d'été y est absent (LEED aux USA, OST en Espagne). Or, le confort d'été est, dans ce cas, un élément essentiel. Nous constatons que tous les labels examinés négligent ce critère, sauf la RT2012, qui définit un indice (T_{ic}) afin d'évaluer le confort d'été. C'est la raison pour laquelle l'extension du label français vers la région d'étude (caractérisée par un climat chaud et humide) est envisageable.

4.2.5. Pertinence des outils et de la méthode d'évaluation dans des environnements divers

Chaque label, qu'il soit volontaire ou obligatoire, a ses outils et sa méthode d'évaluation pour vérifier la pertinence de sa démarche dans un environnement différent du contexte d'origine. Ces outils sont souvent présentés comme une fiche disponible sur les sites internet (ex. : RT2012 et Minergie), avec un logiciel de calcul (ex : le label Passiv'Haus exige une pré vérification à l'aide du logiciel PHPP de l'Institut Passiv'Haus en phase APS/APD). Les méthodes d'évaluation de tous les labels, similaires, se déroulent en trois étapes :

(*a*) enregistrement du projet en phase de conception auprès de l'organisme de certification ;

(*b*) attestation provisoire de prise en compte des exigences posées par le label ; permis de construire (cette attestation est obligatoire pour RT2012, Minergie et Passiv'Haus) ;

(*c*) attestation finale transmise par l'organisme (cas de Passiv'Haus ou LEED) ou par un contrôleur indépendant agréé par l'organisme de certification.

C'est dans cette logique d'évaluation que nous inscrivons notre futur label énergétique.

4.2.6. L'acceptabilité technique et socio-économique dans l'environnement considéré

La transposition d'un label dans un environnement différent est conditionnée par deux nécessités liées au nouvel environnement : la *première* est l'acceptabilité technique en matière de main-d'œuvre et de matériaux disponibles ; la *deuxième*, l'acceptabilité socio-économique des occupants par rapport à cette nouvelle procédure : changements générés dans les habitudes de vie, surcoût et temps de retour sur l'investissement relatif à ce surcoût.

Nous avons évoqué, dans le troisième chapitre, plusieurs types d'enquêtes. L'une était destinée aux professionnels pour illustrer leurs savoir-faire : le résultat de cette enquête a abouti à l'élimination de systèmes énergétiques préconisés par certains labels : chaudière à condensation recommandée par Passiv'Haus, PAC air/eau préconisée par Minergie ; isolation extérieure et triple vitrage exigés par Minergie et Passiv'Haus.

Une autre enquête, destinée aux ménages, visait à recueillir leur avis sur les nouvelles technologies et systèmes de construction adoptés en Europe dans les bâtiments basse consommation énergétique. Les résultats de cette enquête ont mis en évidence l'élimination de certaines technologies, comme les panneaux photovoltaïques préconisés dans les labels LEED et OST.

Ces enquêtes montrent la possibilité d'éliminer certains labels ou certaines exigences dans les labels, et d'en adopter d'autres qui soient transposables en milieu est-méditerranéen.

Constat :

Après l'analyse détaillée de six labels parmi les plus répandus dans le monde, nous avons établi un état de l'art des exigences et des critères énergétiques de chacun d'eux. La comparaison a été effectuée sur plusieurs bases : (1) les limites d'application d'ordres climatique, technique ou liées aux équipements et aux usages ; (2) la possibilité de transposition à un environnement différent de l'environnement d'origine ; (3) le poids des exigences énergétiques dans l'évaluation globale ; (4) la prise en compte du confort d'été comme du confort d'hiver ; (5) la pertinence des outils et de la méthode d'évaluation dans des environnements divers ; (6) l'acceptabilité technique et socio-économique dans la région considérée.

En faisant la synthèse de ce que cette comparaison nous a permis de dégager, nous allons pouvoir à présent mettre en place un label énergétique répondant à des exigences locales nouvelles et à des critères compatibles ou cohérents avec l'environnement est-méditerranéen.

Il ressort de notre étude que la réglementation thermique française de 2012 est la plus appropriée au terrain de la Syrie. En effet, l'accessibilité des exigences de la RT2012 en milieu est-méditerranéen, le Bbio, la liberté en matière de choix techniques, le poids énergétique remarquable de ce label (critère C_{ep}) et la prise en compte du confort d'été, tous ces éléments désignent le label français – inspiré par le Grenelle de l'environnement – comme le plus adapté au pays considéré, la Syrie.

En conséquence, les choix des critères à adopter dans notre future procédure énergétique seront basés sur les exigences de la RT2012.

4.3. Adoption des critères et des exigences selon le cas d'étude

Il s'agit maintenant de mettre en place une certification énergétique applicable sur notre terrain, cette certification étant basée, « comme les autres labels », sur des critères d'évaluation. Avant de choisir et de répertorier ces critères, il nous semble intéressant de nous arrêter un instant pour identifier ce qu'est un critère, et en particulier un bon critère.

4.3.1. Logique des critères à adopter

Un critère est une condition qui s'applique selon un indice choisi pour donner un avis sur une valeur de résultat ; c'est donc un jugement sur la grandeur (indice).

Un bon critère doit répondre aux cinq exigences suivantes :

- Promouvoir l'efficacité énergétique, soit une réduction importante de la dépense énergétique annuelle.
- Être facilement évaluable : le calcul doit être simple et facile à faire.
- Mise en œuvre avec la technologie disponible : vérifier l'état d'acceptation des techniciens et acteurs dans le domaine, en matière de savoir-faire au pluriel.
- Être économiquement rentable, avec un retour sur investissement intéressant.
- Être socialement acceptable : il importe que les utilisateurs, les ménages en l'occurrence, ne soient pas bousculés dans leurs habitudes de vie.

Il convient de noter que, dans notre cas d'étude, deux autres exigences cachées sont à vérifier pour juger de l'adaptation d'un critère :

- Taux de confort : le critère choisi doit atteindre un niveau de confort souhaitable pour les ménages et améliorer fortement le niveau de confort existant.

– Surcoût additionnel : il s'agit que le surcoût doit être acceptable et qu'il ne fasse pas trop hésiter les acteurs à adopter le système choisi.

Un bon critère doit donc être pertinent, judicieux et répondre à la fois aux cinq exigences principales et aux deux exigences cachées.

Compte tenu de l'état de l'art de la situation énergétique des bâtiments, ainsi que des pratiques professionnelles et sociales actuelles en Syrie (cf.§.Ch4-4.3), notre analyse sera à la fois socio-économique et technique ; nos observations pourront porter également sur des aspects politiques, réglementaires ou liés au financement et au rôle des différents acteurs dans le secteur du bâtiment.

4.3.2. Les critères choisis

Après avoir vu, dans les chapitres 2 et 3, l'état de l'art (constructions, législations, matériaux, techniques de construction sur site, etc.) et les besoins et consommations énergétiques dans les résidences, notre travail de recherche consistera à déterminer des critères majeurs et des procédures dites « de certification énergétique » destinées aux bâtiments neufs, pour (I) évaluer les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment, optimiser les différents types d'enveloppe et leurs composants, en essayant d'améliorer le confort thermique dans les résidences tout en prenant en compte la localisation énergétique du site ; (II) estimer et calculer les consommations globales en énergie « en été, hiver et pour l'eau chaude sanitaire », en tenant compte des comportements des habitants ; (III) évaluer le confort d'été selon chaque solution proposée afin d'arriver au scénario qui réponde au mieux aux besoins de confort ; (IV) effectuer le choix des systèmes de production d'énergie conventionnelle pour notre site (chauffage et climatisation), qui devra correspondre aux offres de ces techniques sur le marché industriel local, à charge pour nous de choisir les systèmes les plus répandus techniquement et financièrement sur notre site, avec pour but de réduire les factures énergétiques des bâtiments dans notre cas d'étude.

Nous pouvons résumer comme suit les critères à prendre en compte dans notre recherche :

Le premier critère est bioclimatique : nous allons nous focaliser sur la cohérence entre le climat et le bâtiment, et donc sur la conception de l'enveloppe, les solutions passives capables d'améliorer le degré de confort thermique dans le bâtiment.

Le deuxième critère est énergétique : il s'agit de se baser sur la consommation énergétique primaire spécifique du site étudié, de favoriser les systèmes « disponibles techniquement sur notre terrain », les plus économes, en termes de consommation énergétique, pour atteindre le confort d'hiver et d'été en fixant une valeur conventionnelle cohérente avec notre site.

Le troisième critère d'évaluation est le confort d'été : l'importance de ce critère vient du climat particulier, très chaud en été, qui rend sa prise en compte absolument nécessaire dans notre cas d'étude. Notre choix de critères se fonde sur les exigences particulières du site choisi. Ces choix convergent avec la logique et les critères établis par le règlement thermique français RT2012. Cela se traduit par la mise en place des valeurs correspondantes sur notre site, en Syrie, pour les indices suivants : le Bbio (indicateur des conceptions bioclimatiques), le C_{ep} (indicateur de la consommation énergétique) et le T_{ic} (indicateur de confort d'été) afin de répondre à la fois aux cinq exigences principales : (1) promouvoir l'efficacité énergétique, (2) être facilement évaluable, (3) pouvoir être mis en œuvre avec la technologie disponible, (4) être économiquement rentable, (5) être socialement acceptable ; et aux deux exigences cachées : (1) taux de confort, (2) surcoût additionnel.

4.3.3. Intérêts et bénéfices pour la situation énergétique en Syrie

Plusieurs intérêts sont attendus de la mise en place de cette certification, à savoir :

- Intérêt réglementaire : la mise en place des règlements thermiques concerne les bâtiments résidentiels neufs.
- Intérêt économique :
  - ✓ réduire la consommation énergétique dans les bâtiments futurs ;
  - ✓ valoriser les nouveaux bâtiments certifiés par l'économie énergétique réalisée.
- Intérêt social :
  - ✓ montrer l'importance de l'économie énergétique aux usagers des bâtiments, informer les occupants sur leurs futures factures énergétiques ;
  - ✓ améliorer le confort dans les bâtiments certifiés tout en réduisant les dépenses énergétiques ;
  - ✓ ouvrir de nouveaux secteurs d'emploi par le biais des nouvelles technologies à mettre en place.
- Intérêt scientifique :
  - ✓ ouvrir les professionnels à la connaissance de ces nouvelles technologies énergétiques et de leurs avantages.
- Intérêt environnemental :
  - ✓ Faire prendre conscience aux citoyens des enjeux environnementaux, en relation directe avec la consommation énergétique globale.
- Intérêt à l'échelle de la ville et du pays :
  - ✓ mettre en place de nouveaux critères énergétiques dans le domaine de l'habitat et de la construction conduira à l'avènement d'une ville durable avec une perspective de performances énergétiques du bâti, tout en permettant de rester attentif au bien-être des habitants ;
  - ✓ inciter les pouvoirs publics et l'État à prendre conscience de l'importance du problème énergétique, et traduire cette évolution par le développement d'instituts techniques pour les professionnels et dans les universités.

Conclusion

Nous avons présenté ici différents labels et procédures énergétiques et environnementales dans le monde, en éclairant la place et le poids des critères énergétiques. Nous avons constaté que les principes de certification, dans la majorité de ces labels (RT2005, RT2012, BBC, Passiv'Haus, Minergie), sont basés sur une comparaison du bâtiment à construire avec un bâtiment de référence. Ce dernier présente la même géométrie et respecte les exigences énergétiques du label. Une comparaison en matière énergétique a été réalisée en vue d'éclairer les critères et les exigences thermiques de ces labels, le but étant de choisir un label ou des critères cohérents avec notre site est-méditerranéen. La méthodologie de comparaison entre les labels repose sur une évaluation en termes techniques, économiques et sociaux. Le choix de la réglementation française RT2012 a été le résultat de notre comparaison, pour plusieurs motifs : possibilité de transposition sous plusieurs aspects, accessibilité de ces exigences en milieu est-méditerranéen, liberté en matière de choix techniques offert par l'indice B_{bio}, poids énergétique remarquable de ce label présenté par le critère C_{ep}, prise en compte de la situation géographique et du critère de confort d'été. La mise en place de la certification énergétique du bâtiment résidentiel en Syrie peut offrir plusieurs bénéfices à tous les niveaux, scientifique, réglementaire, économique, social et environnemental.

Dans le chapitre 5, nous allons développer une méthodologie de travail et une expérimentation, avec pour finalité de valider la démarche entreprise.

Chapitre 5. Méthodologie générale et travail expérimental

L'objectif de ce chapitre est de valider un outil de simulation thermique dynamique (STD) du bâtiment pour une habitation de référence en région Est-Méditerranée.

Pour cela, nous avons prévu de réaliser une expérimentation dans un bâtiment de référence, de simuler ce bâtiment en STD avec des hypothèses concernant : le climat, les techniques de construction, les systèmes énergétiques, les usages, etc.

Notre point de départ est donc d'identifier un bâtiment de référence, d'établir un descriptif détaillé de son enveloppe et de ses systèmes énergétiques (chauffage, climatisation, ECS, électroménager, etc.), puis d'envisager des appareils de mesures physiques pour assurer le suivi des paramètres (température, l'humidité et les consommations énergétiques) dans ce bâtiment. Des questionnaires destinés aux occupants nous permettront d'éclairer également les différents usages qui ont cours dans l'appartement.

Le choix d'un outil de simulation thermique dynamique sera basé sur la facilité et l'acceptabilité de celui-ci dans les bureaux d'études, et sur le fait qu'il permette de modéliser les différents paramètres : climat local, enveloppe, systèmes et usages.

La comparaison entre les résultats des mesures et ceux de la simulation thermique dynamique aura pour but de valider nos hypothèses et notre méthodologie.

Dans le cadre de notre recherche, nous allons d'abord choisir un bâtiment de référence « type » où effectuer notre suivi expérimental afin d'approcher la réalité du site. Les résultats de ces mesures seront comparés à ceux obtiens au moyen d'une modélisation thermique dynamique et valider ainsi notre travail expérimental.

1. Descriptions du bâtiment de référence (localisation, climat, géométrie)

Le travail expérimental étant réalisé dans un environnement (type) de notre site, nous commencerons donc par le choix de cet appartement type, et par une description détaillée de son enveloppe, de ses équipements et usages, et de son climat.

1.1. Le choix du bâtiment type

Une recherche locale nous a révélé qu'aucune étude ne concernait la caractérisation énergétique du parc de logements en Syrie. Les habitats sont souvent des immeubles collectifs avec des morphologies différentes et des dates de construction plus ou moins lointaines.

Nous pouvons diviser les types de logements en trois catégories selon les dates de construction :

I. Logement ancien (date de construction antérieure à 1970).

II. Logement collectif non récent (date de construction comprise entre 1970 et 2000).

III. Logements récents (date de construction postérieure à 2000).

• Logements en catégorie I : très peu d'informations sont disponibles pour ce type de construction. Ils sont généralement en mauvais état, les matériaux de construction sont souvent la pierre de sable pour les murs extérieurs et intérieurs (très rare à trouver de nos jours sur le marché), avec des poutres en bois, en béton ou en métal ; toutes les menuiseries sont en bois de chêne. Les immeubles sont souvent sans sous-sol et les toitures ne sont pas isolées. Cette technique de construction a été depuis abandonnée.

• Logements en catégorie II : ils représentent une part importante du parc de logements syriens. Les matériaux de construction sont souvent en béton armé pour les murs extérieurs et

intérieurs et les planchers, les toitures ne sont pas isolées, et il existe un sous-sol partiel pour chaque immeuble ; toutes les menuiseries sont en bois de chêne.

Il faut noter que même si toutes les informations sur ce type de construction sont disponibles, ces logements ont, pour la plupart, été rénovés (peut-être à plusieurs reprises) dans le temps par des professionnels sans qu'aient été laissées d'informations sur ces travaux de rénovation.

• Logements en catégorie III : ce type de construction représente une grande part du parc de logements actuel. Il est aussi représentatif de la méthode actuelle de construction, avec un accès aisé à toutes les informations et tous les détails concernant la construction, notamment les matériaux utilisés.

Après cet état de l'art sur les catégories des bâtiments à Tartous, notre choix de bâtiment type s'est porté sur la catégorie (III) pour les raisons suivantes :

1- Elle représente une grande part du parc de logements actuel.
2- Les techniques et les matériaux de construction utilisés sont appliquables pour les constructions actuelles.
3- Très peu de rénovations ont été réalisées et les bâtiments sont toujours dans leur état d'origine.

Le descriptif de cette catégorie et la composition des systèmes de construction sont détaillés dans le tableau suivant 5.1:

Tableau 5.1 : Descriptif technique de la catégorie III de construction

Système	Composition	Descriptif
Mur extérieur en béton	Béton armé – pierre naturelle – mortier – enduit intérieur.	Béton armé de 20 cm avec une pierre naturelle à l'extérieur de 3 à 6 cm, souvent non isolé.
Mur extérieur en parpaing	Bloc de parpaing – mortier – lame d'air – enduit extérieur et intérieur.	Deux parpaings de 10 cm avec vide de 5 cm et enduit, non isolé.
Mur intérieur simple	Bloc de parpaing – mortier ou enduit de ciment – enduit deux faces.	Parpaing de 10 cm + enduit de ciment, non isolé.
Mur intérieur intermédiaire entre les appartements	Bloc de parpaing – mortier ou enduit de ciment – enduit deux faces.	Parpaing de 20 cm + enduit de ciment, non isolé.
Plancher intermédiaire	Bloc de hourdis – dalle béton 6 cm souvent – mortier – carrelage – enduit pour la face basse.	En hourdis et béton, 25 à 30 cm, non isolés.
Plancher toiture	Bloc de hourdis – dalle béton 6 cm souvent – mortier.	En hourdis et béton, 25 à 30 cm, non isolés.
Plancher bas en contact avec le sol	Dalle béton armée – mortier – carrelage – isolation avec enduit d'asphalte — décharge.	En béton armé de 15 à 20 cm, avec décharge de 50 cm, isolé en contact avec la terre.
Menuiseries extérieures Fenêtres/portes	Cadre aluminium – simple vitrage – store aluminium. Porte extérieur et cadre en chêne.	Fenêtres et portes extérieures : souvent cadre et store en aluminium avec simple vitrage non traité, avec retrait de 20 cm et allège pour les fenêtres de 90 cm. Porte principale : souvent en chêne avec son cadrage.

Menuiseries intérieures	Chêne avec les cadres.	Les portes intérieures sont souvent en chêne avec leur cadrage pour des raisons esthétiques.
Volets	En aluminium.	Volet roulant en aluminium.
Chauffage	Souvent individuel.	Poêle à mazout ou chauffage électrique.
Appareil de climatisation	Toujours appareil en deux pièces (extérieur et intérieur) individuel.	Selon le volume de la pièce, capacité comprise entre 1 et 2 tonnes.
Sous-sol	Souvent partiel, appelé : sous-sol militaire.	En béton armé avec isolation d'asphalte en contact avec le sol.

Il faut noter que ces recherches de terrain ont été réalisées en 2011 et que notre choix de bâtiment type s'est porté sur la ville de Tartous, mais que suite aux événements et à la guerre en Syrie, nous n'avons pas eu la possibilité de nous rendre sur site pour réaliser les mesures énergétiques nécessaires. Pour cette raison, notre choix s'est tourné vers un appartement situé au Liban, pour lequel nous avons bénéficié de l'aide de M. Élie Terzibachian, ingénieur du Cnam Beyrouth et doctorant dans notre laboratoire depuis l'année scolaire 2013-2014. Cet appartement est situé en zone côtière et possède les mêmes caractéristiques que notre type de bâtiment d'étude, en matière d'enveloppe, d'équipements, d'usages et de climat.

Une première visite a eu pour but de découvrir l'appartement et de récolter plusieurs informations sur l'immeuble (géométrie et localisation de l'immeuble dans son quartier, cahier des charges et types de matériaux de construction utilisés, géométrie de l'appartement, etc.).

1.2. Localisation et climat

L'appartement étudié se trouve dans un immeuble collectif construit en 2000 qui se situe dans une région limitrophe à Beyrouth nommée Fanar, à une distance de 3 km du centre-ville et à une altitude de 200 m. La position géographique de cet immeuble est caractérisée par une latitude de 33°52'49.79'' nord et une longitude de 35°33'46.13'' est. L'immeuble bénéficie de deux façades orientées nord-est et sud-ouest. Une vue satellite tirée de Google-Earth montre la position de l'immeuble :

Figure 5.1 : Position de l'appartement sur Google Earth

Nous avons récupéré les données climatiques horaires auprès de l'agence Meteonorm – les détails de ces données sont présentés en annexe 5. Ces données horaires nous ont fourni plusieurs informations, telles que : les données climatiques quasi-complète de notre site, les températures, l'irradiation globale et diffuse horizontale, les vitesses des vents dominants et les durées d'irradiation solaire.

1.3. Géométrie de l'immeuble et de son environnement

L'immeuble est situé dans un quartier résidentiel, avec une vue sur la rue par la façade nord-est. L'autre façade (orientée sud-ouest) donne sur des immeubles de basse hauteur et sur un jardin dans lequel il y a des arbres peu élevés.

L'appartement étudié se trouve au premier étage d'un immeuble constitué d'un sous-sol, d'un RDC et de deux étages. La géométrie verticale de cet immeuble est détaillée dans le tableau 5.2 et illustrée dans la figure 5.2 :

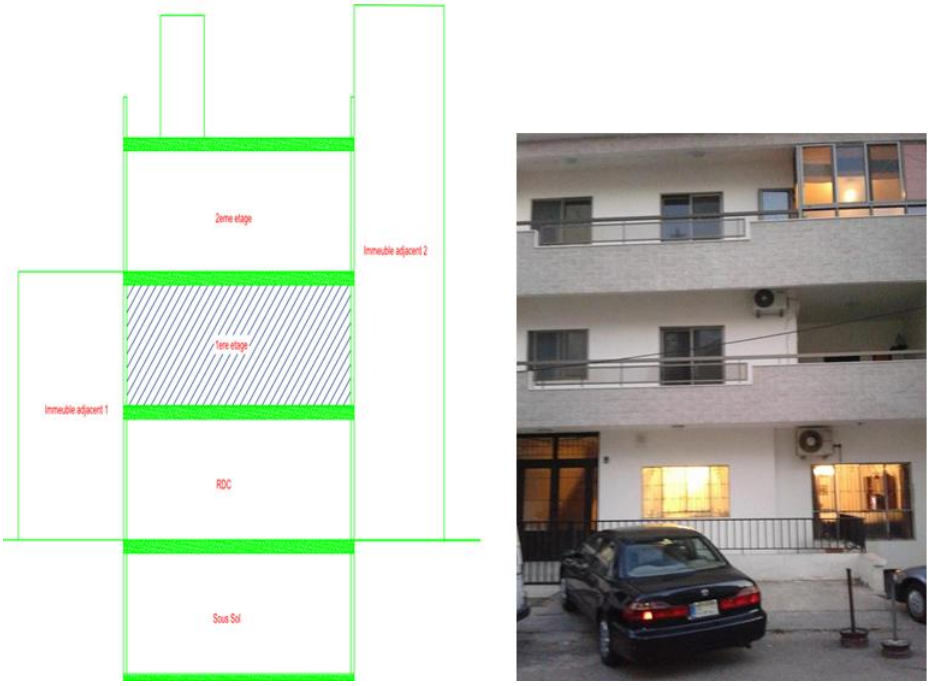
Tableau 5.2 : Description géométrique de l'élévation de l'immeuble

Élévation de l'immeuble		
	Niveau	
Terre	-310 cm	
10 cm béton	-300 cm	
5 cm sable	-295 cm	
Hauteur sous-sol h=295 cm	0 cm	
30 cm béton armé	+30 cm	
2 cm tuiles	+32 cm	Niveau sol RDC
Hauteur RDC h=295 cm	+327 cm	Niveau plafond RDC
30 cm Béton armé	+357 cm	
2 cm Tuiles	+359 cm	Niveau sol 1er étage
Hauteur 1er étage h=295 cm	+654 cm	Niveau plafond 1er étage
30 cm béton armé	+684 cm	
2 cm tuiles	+686 cm	Niveau sol 2e étage
Hauteur 2e étage h=295 cm	+981 cm	Niveau plafond 2e étage
30 cm béton armé	+1 011 cm	Surface du toit horizontal
Toit horizontal de l'immeuble		

Notre immeuble, d'une hauteur de 10,11 m, est situé entre deux immeubles adjacents, le premier d'une hauteur de 6,86 m, le deuxième d'une hauteur de 13 m.

En ce qui concerne les autres immeubles autour (sur les deux façades principales), ils ont souvent des hauteurs plus ou moins proches de la nôtre. La largeur de la rue, en face de l'immeuble, est de 10 m (trottoirs inclus). La figure 5.2 montre une photo de la façade nord-est avec une coupe verticale de l'immeuble.

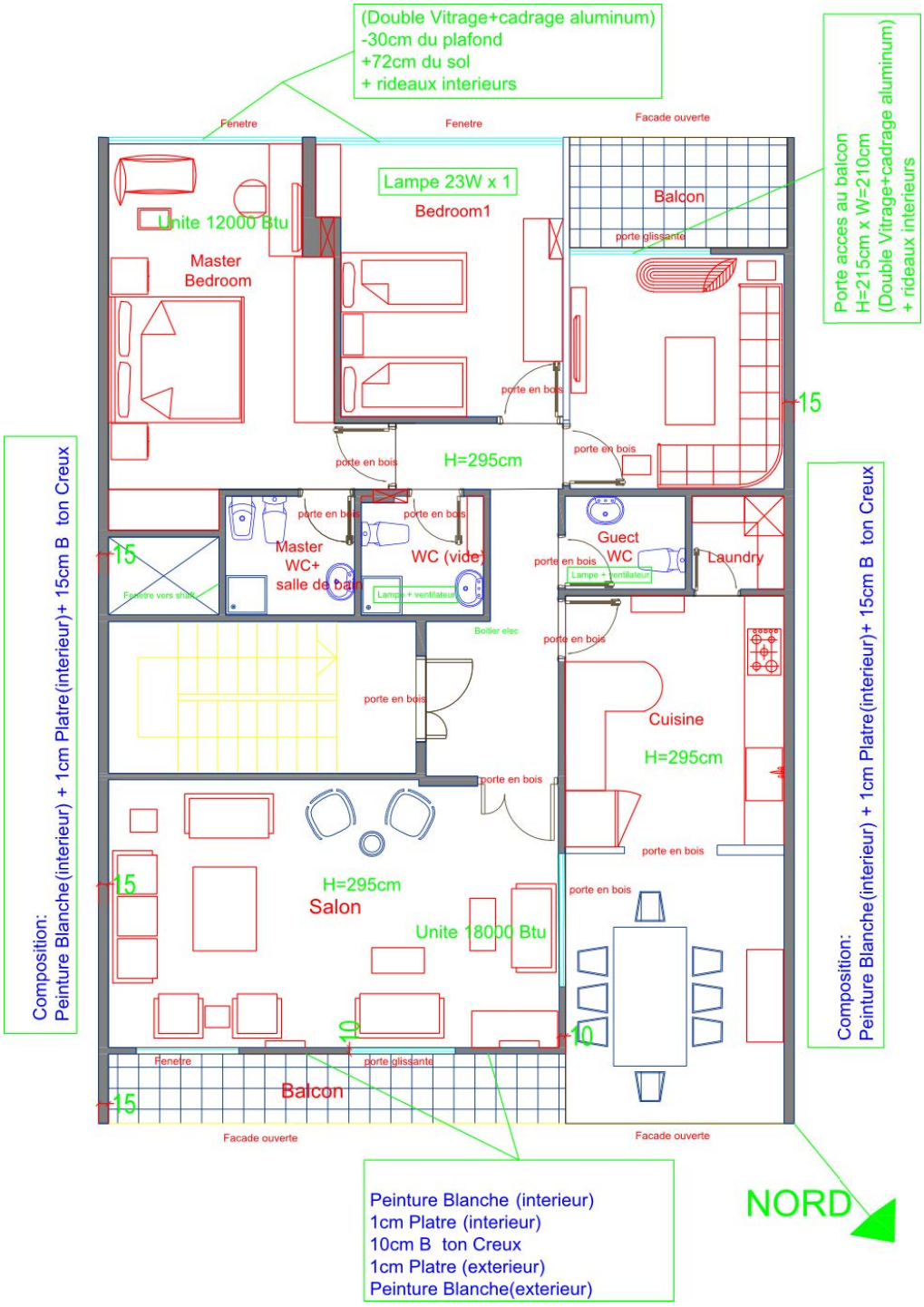
Figure 5.2 : Coupe horizontale de l'immeuble avec les immeubles adjacents



1.4. Géométrie de l'appartement de référence

L'appartement de référence est constitué de quatre pièces principales, deux chambres, et un séjour donnant sur la façade sud-ouest avec un balcon ; le salon donne sur la façade nord-est avec un balcon ; la cuisine donne sur une salle à manger ouverte directement sur l'extérieur ; un espace *laundry* accueille les équipements électroménagers principaux (lave-linge et sèche-linge). L'appartement comprend 3 w.-c. : un attaché à la chambre des parents, un autre pour les invités et le dernier est principalement associé à la salle de bains. La surface totale de cet appartement est de 130 m² + 20 m² de balcons. Une description de l'appartement à l'intérieur est présentée dans la figure 5.3.

Figure 5.3 : Description de l'appartement de référence (meublé)



2. Description métrologique (enveloppe, équipements et usages)

L'objectif principal de la visite et des mesures sur site est de rassembler des informations concernant l'enveloppe de l'appartement de référence, les niveaux de confort, les équipements énergétiques et la consommation énergétique de l'appartement.

Après le choix de notre appartement de référence, nous avons commencé à préparer la prise des mesures sur site. Pour cela, plusieurs phases ont été nécessaires :

2.1. Préparation des visites

La première visite a eu pour but de découvrir l'immeuble et l'appartement de référence. Lors de cette simple visite, nous avons aussi :

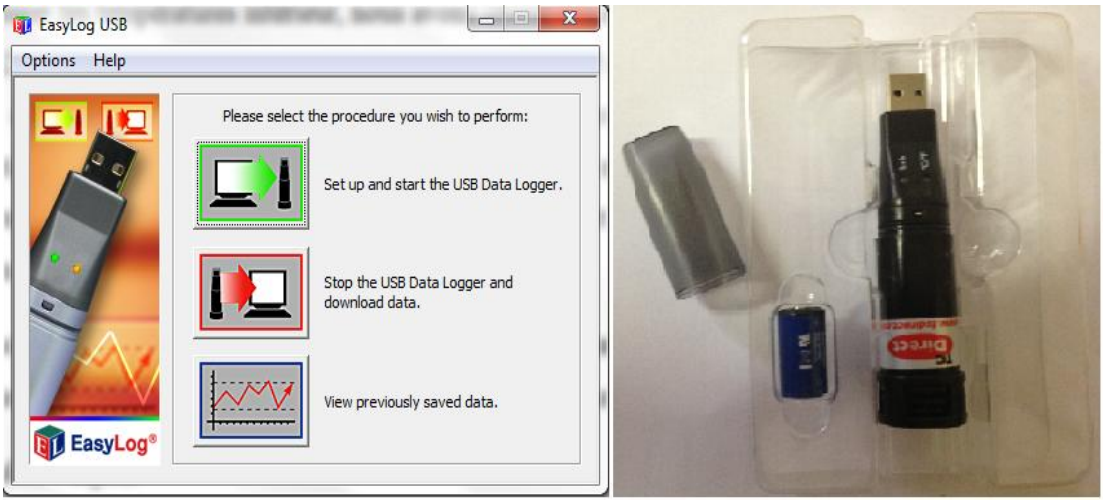
- sélectionné les pièces pour les mesures de confort (température et humidité) : le choix des pièces était basé sur l'utilisation des pièces (nous avons choisi les pièces les plus occupées) ; les pièces étaient réparties en zones thermiques différentes en fonction des appareils électriques (puissants) et des appareils de climatisation qu'elles comprenaient ;
- choisi les instruments de mesure du confort (T° et HR) ;
- choisi l'appareil pour mesurer les consommations électriques de l'appartement.

2.2. Choix des mesures utiles et moyennes utilisées sur site pour rechercher les données

Après la première visite, nous avons pu déterminer les matériels nécessaires pour effectuer nos mesures :

1) Un métreur pour vérifier les dimensions de l'appartement selon les plans d'exécution.
2) Les habitants ne nous ont pas autorisé à pratiquer un simple trou dans les murs ou dans le plancher pour vérifier les différentes couches de matériaux de construction. Nous avons donc procédé en recherchant des trous existants pour vérifier ces couches par un simple regard.
3) Pour la mesure de confort (les températures intérieures et l'humidité relative), nous avons sélectionné des capteurs individuels de type LascaElectronic, programmés pour prendre des mesures toutes les 5 minutes. Ces capteurs ont été disposés dans les pièces dans des endroits dissimulés, loin des mains des enfants et des sources de chaleur (lampe, climatisation, four, etc.).

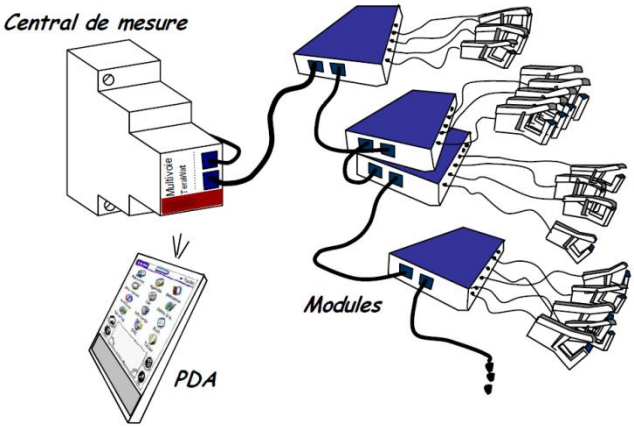
Figure 5.4 : LascaElectronic (capteurs de température T° et humidité HR %)



4) Pour mesurer les consommations électriques, nous avons installé un système multivoie de type Omégawatt, conçu pour la mesure simultanée de la consommation électrique des nombreux départs dans les tableaux électriques (ici, 6). Il comprend un concentrateur, qui mesure les tensions et assure l'alimentation de l'ensemble, et des modules équipés de capteurs de courant.

Le système communique avec l'utilisateur au moyen d'un PDA, par liaison infrarouge ou par radio. Le concentrateur et les modules sont reliés par un bus numérique industriel haute vitesse composé de câbles à fiches RJ11 prémontrés (figure 5.5).

Figure 5.5 : Schéma du principe de l'appareil multivoie

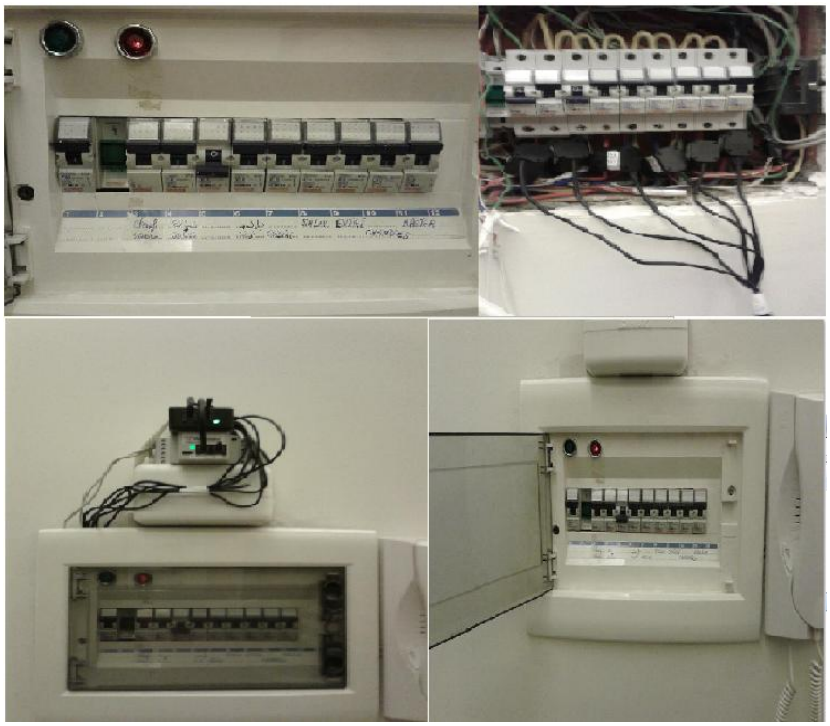


Il existe, dans le tableau électrique de l'appartement, 10 sorties susceptibles d'être branchées. Notre choix a porté sur 6 branches, dans le but de connaître les consommations électriques des appareils de climatisation et d'ECS, principalement, et d'avoir une idée de la consommation électrique de plusieurs postes dans l'appartement (figure 5.6).

Les 6 départs, dans le tableau électrique lié à l'appareil multivoie, sont les suivant :

1– Chambre + séjour. 2– Salon. 3– Eau chaude. 4– Réfrigérateur + four électrique. 5– Lave-linge + lave-vaisselle + sèche-linge. 6– *Master bedroom*.

Figure 5.6 : Système multivoie pour la mesure simultanée de la consommation électrique



5) Pour la mesure de l'eau chaude sanitaire, nous mesurons la température de production de l'eau chaude, puis nous relevons la consommation électrique via l'appareil multivoie.
6) La mesure du système de climatisation est réalisée à l'aide de l'appareil multivoie que nous avons installé dans le tableau électrique : nous avons mesuré la consommation électrique pour chaque unité split (deux unités dans l'appartement : une dans le salon et une dans le *Master bedroom*).
7) Les déperditions par l'enveloppe, la perméabilité de l'air ou l'étanchéité de l'enveloppe ont été évaluées par l'observation de l'étanchéité de l'appartement (les joints des menuiseries, les fissures dans l'appartement, etc.) et suite à des recherches dans les données nationales pour déterminer l'infiltration et le renouvellement d'air naturel.

3. Base de données (enveloppe et matériaux de construction, équipements et usages)

Cette phase consiste à établir une base de données du bâtiment de référence. Ces données sont classées en trois catégories.

La première concerne les matériaux de construction utilisés dans l'enveloppe du bâtiment. Pour ce type d'informations, nous nous sommes appuyé sur des ouvrages architecturaux, tels que celui de Joffroy (1999)[88], et sur les caractéristiques des matériaux, grâce au cahier technique du CSTB (1980)[89] et au code d'isolation thermique en Syrie (Ordre des ingénieurs syrien, 2008)[90].

Le deuxième type d'informations concerne les installations énergétiques, les appareils électroménagers et les systèmes de consommation ou de production d'énergie dans l'appartement. Ces données aident à identifier les consommations énergétiques dans l'appartement en présentant les chaleurs dissipées produites par ces appareils.

Le troisième type d'informations porte sur les usages des occupants et concerne leur présence, le niveau de confort souhaité en hiver comme en été, et leur mode d'utilisation des équipements énergétiques.

Toutes ces informations sont nécessaires afin d'établir le modèle complet de notre appartement de référence.

3.1. L'enveloppe

Caractéristiques des matériaux de construction

L'enveloppe du bâtiment est constituée de plusieurs éléments associés : plancher, toiture, murs (intérieurs et extérieurs) et menuiseries (fenêtres, portes et portes-fenêtres). Dans notre étude, nous cherchons les caractéristiques quantitatives présentées par le ou les paramètres thermophysiques de chaque élément. Nous présentons, dans le tableau suivant 5.3, les paramètres thermophysiques que nous recherchons :

---

[88] Joffroy, *La réhabilitation des bâtiments : conserver, améliorer, restructure les logements et les équipements*, Edition Le Moniteur, Paris, 1999.

[89] CSTB, *Coefficients K des parois des bâtiments anciens,* Cahiers technique du CSTB, 1980

[90] Code d'isolation thermique en Syrie, Ordre des ingénieurs syrien, 2008.

Tableau 5.3 : Paramètres thermophysiques pour les éléments du bâtiment

Élément	Paramètre thermophysique	Symbole	Unité
Mur Toiture Plancher	Résistance thermique	R	$(m^2.K)/W$
	Conductivité thermique	λ	W/(m. K)
	Masse volumique	ρ	kg/m^3
Fenêtre	Facteur solaire vitrage	Sw	-
	Coefficient de déperditions vitrage	U	$W/m^2.K$
	Coefficient de déperditions cadres	U	$W/m^2.K$

Une description complète de l'enveloppe nécessite une connaissance des éléments entrant dans la construction pour pouvoir établir un modèle du bâtiment. Ces informations sont résumées en trois catégories et illustrées dans le tableau 5.4 :

- types et composition des parois opaques (épaisseurs, matériaux) avec leurs caractéristiques thermophysiques ;
- caractéristiques des menuiseries (vitrages et cadres) ;
- mode constructif, pour essayer de déterminer les ponts thermiques linéaires et l'infiltration d'air.

Tableau 5.4 : Description des matériaux et des systèmes de construction

Rappelons que nous nous sommes basé sur le cahier technique du CSTB et sur le code

Système	Composition		λ	R	ρ
Mur type 2 : Murs extérieurs adjacents aux immeubles	Enduit	**Intérieur**	**0,35**	**0,2**	**180**
	1 cm plâtre	↓	**0,35**		
	15 cm béton creux				
	Collé au mur de l'immeuble adjacent	**Extérieur**	**1,071**		
Mur type 3 : Murs extérieurs du salon	Enduit	**Intérieur**	**0,35**	**0,21**	**162**
	1 cm plâtre	↓	**0,35**		
	10 cm béton creux		**0,833**		
	1 cm plâtre		**0,35**		
	Enduit extérieur	**Extérieur**	**1,15**		
Mur type 1 : Mur intérieur simple	Enduit	**Intérieur**	**0,35**	**0,24**	**160**
	1 cm plâtre	↓	**0,35**		
	10 cm béton creux		**0,833**		
	1 cm plâtre		**0,35**		
	Enduit	**Intérieur**	**0,35**		
Mur type 4 : Murs de la façade SO (chambre+séjour)	Enduit	**Intérieur**	**0,35**	**0,22**	**162**
	1 cm plâtre	↓	**0,35**		
	10 cm béton creux		**0,833**		
	1 cm plâtre		**0,35**		
	Peinture blanche	**Extérieur**	**0,35**		
			1,15		
Plancher intermédiaire/toiture	2 cm carrelage	**Extérieur**	**1,7**	**0,3**	**617**
	2 cm mortier	↓	**1,.15**		
	5 cm sable et gravier		**2**		
	4 cm béton lourd		**1,75**		
	25 cm hourdis		**1,.389**		
	1 cm mortier	**Intérieur**	**1,.15**		
	Peinture blanche		**0,35**		
Plancher bas en contact avec le sol	3 cm carrelage	**Extérieur**	**1,7**	**0,24**	**775**
	2 cm mortier	↓	**1,15**		
	5 cm sable et gravier		**2**		
	25 cm béton lourd		**1,75**		
	1 cm mortier	**Intérieur**	**1,15**		
Menuiseries extérieures Fenêtres/portes	**Cadre aluminium – double vitrage – store aluminium – Porte extérieure et cadre en chêne**		**Facture solaire Sw**	**Ug vitrage V/H**	**Uf cadre**
			0,855	**5,74/6,94**	**5**
Menuiseries intérieures	**Chêne avec les cadres**		**U Porte**		**U cadre**
			2		**2**

d'isolation thermique en Syrie afin d'identifier les valeurs physiques requises dans ce tableau.

En ce qui concerne le mode de construction de l'enveloppe, la méthode « collé sur place » est fortement dominante pour les éléments structurels, avec une absence quasi-totale de préfabrication.

3.2. Les installations électriques dans l'appartement

Le fonctionnement de certains appareils électriques libère de la chaleur par la transformation d'une partie de l'électricité consommée en chaleur par effet joule. Celle-ci prend la forme d'un dégagement de chaleur sensible et latente. Cette énergie transformée en chaleur se libère en deux manières, radiative et convective selon son origine. Le gain de chaleur par rayonnement est absorbé par les parois et les objets environnants, et n'affecte l'air de la pièce, par conséquent, qu'après un certain temps. La part convective du gain de chaleur est transmise directement et sans retard à l'air de la pièce par convection naturelle [ASHRAE Fundamentals, 1997][91].

Afin d'établir une description complète des équipements énergétiques, deux types d'informations sont recherchés : le premier concerne les consommations énergétiques de ces appareils et systèmes ; le deuxième, la chaleur libérée par ces appareils en cas de fonctionnement (« puissances dissipées »). Il est donc très important de connaître les détails techniques de chaque appareil électrique, sa consommation et sa puissance, ainsi que sa position dans l'appartement. Toutes ces informations sont détaillées dans le tableau 5.5 :

[91] ASHRAE Fundamentals, *Non residential cooling and heating load calculations*, 1997.

Tableau 5.5 : Installations électriques dans chaque pièce de l'appartement de référence

	Salon		Balcon du salon		Salle à manger	
Installation	Type	N°	Type	N°	Type	N°
	Lampe spot 20 W	17	Lampes 23 W	2	Lampes 23 W	2
	Fluorescent 20 cm Type Tungstram 5239 F36W/29-530	18				
	Stéréo 1 100 W	1				
	Unité split 18000 Btu. 5 275 W	1				
	Entrée/Couloir		**Toilette invités (sans fenêtre)**		**Toilette (sans fenêtre)**	
Installation	Type	N°	Type	N°	Type	N°
	Lampe 20 W	5	Lampe 23 W	1	Lampe 23 W	1
	Fluorescent 20 cm Type Tungstram 5239 F36W/29-530	6	Ventilateur 150cfm 20 W	1	Ventilateur 150cfm 20 W	1
	Toilette/salle de bains (1 fenêtre)		**Mezzanine**		**Chambre bébé**	
Installation	Type	N°	Type	N°	Type	N°
	Lampe 23 Watt	1	Bouteille eau chaude (100 l) avec 2 résistances électriques 1 200 W chacune	1	Lampe 23 W	1
	Séchoir 1 000 W	1				
	Master bedroom		**Séjour**		**Cuisine et *laundry***	
Installation	Type	N°	Type	N°	Type	N°
	Lampe 23 W	1	Lampe Osram 23 W	1	Lampe 23 W	2
	Lampe 7 Watt (lampadaire)	2	TV 50 W	1	Réfrigérateur 200 W	1
	Unité split 12000Btu. 3 517 W	1	Lecteur de DVD 30 W	1	Sèche-linge 2 400 W	1
	-	-	Décodeur 20 W	1	Lave-vaisselle 1 200 W	1
	-	-	-	1	Micro-ondes 1 200 W	1
	-	-	-	-	Four électrique 2 000 W	1
					Lave-linge 2 400 W	1
	-	-	-	-	Installation pour biberon 150 W	1
	-	-	-	-	Hood (ventilation) 400Cmf. 220 W	1

3.3. Les scénarios d'usage

Chaque région et chaque site ont ses particularités selon leur localisation et les conditions de vie de leurs occupants. Ceux-ci décrivent leurs usages en cohérence avec leurs besoins et leur niveau de confort souhaité. Différentes données liées au comportement des occupants sont indispensables pour effectuer un calcul énergétique et thermique réel. Afin d'établir une base de données complète des usages dans un appartement, il est donc nécessaire de rechercher tous les types d'usages liés aux occupants. Ces types d'usages, dits « scénarios », relèvent de 6 catégories. Les effets directs et indirects de chaque scénario jouent un rôle important dans le comportement énergétique de l'ensemble de l'appartement. Pour pouvoir décrire ces scénarios, nous avons réalisé des questionnaires, que nous avons proposés aux

occupants. Les résultats de ces questionnaires et notre travail de terrain vont servir à établir les différents scénarios.

3.3.1. Consigne de température

C'est la température souhaitée par les habitants pour un confort acceptable. Le résultat de notre enquête auprès des occupants est cohérent avec notre résultat du troisième chapitre : la température souhaitée en été est inférieure à 27 °C. Cette température de confort étant liée à l'endroit d'occupation, nous allons donc diviser l'appartement en deux parties : jour et nuit. La présence des occupants dans une pièce exige une température de confort à cet endroit.

Ci-dessous, dans les figures 5.7 et 5.8, une représentation des températures de consigne dans les logements collectifs (mode de refroidissement) un jour de semaine, liées à la présence des occupants dans les pièces.

Figure 5.7 : Températures de consigne dans des logements collectifs en mode climatisation dans la partie jour (période : une journée)

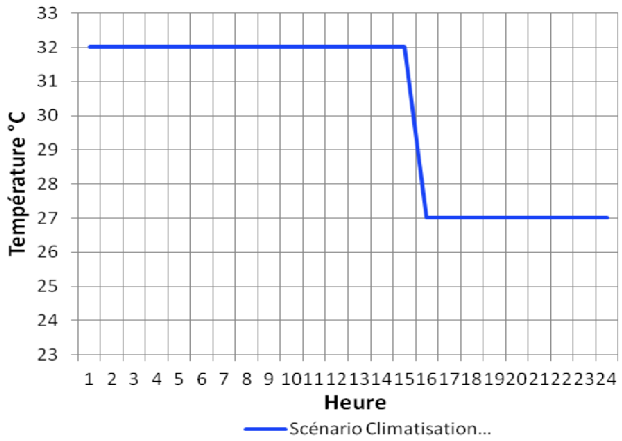
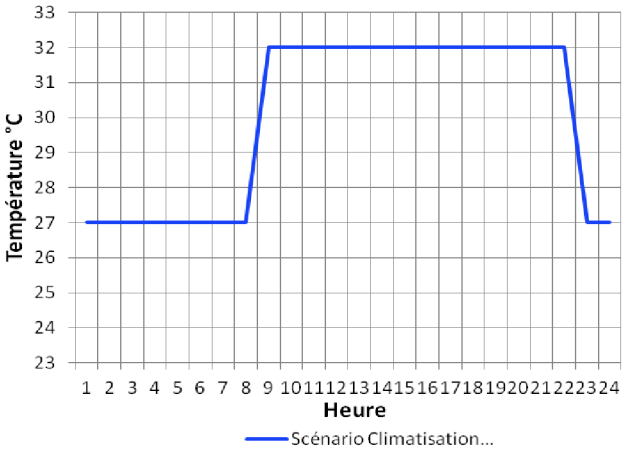


Figure 5.8 : Températures de consigne dans des logements collectifs en mode climatisation dans la partie nuit (période : une journée)



Nous rappelons que, le week-end, la température de consigne est de 27 °C toute la journée.

3.3.2. Taux d'occupation

Ce scénario permet de décrire le nombre des occupants, les modalités de leur présence dans l'appartement par pièce et leur durée. Ce scénario prend en compte les apports internes de chaleur et d'humidité liés à la présence humaine. En général, un couple d'adultes au repos

dégage une puissance de 90 W et une humidité de 0,055 kg/heure. Durant le sommeil, ce même couple dégage 63 W de chaleur et 0,0385 kg/heure d'humidité.

Dans notre cas d'étude, nous avons 3 personnes (1 homme, 1 femme et 1 bébé), et leur présence dans l'appartement est constatée de 17 heures à 8 heures du matin en semaine. Durant le week-end, leur présence varie selon leurs sorties, mais, la plupart du temps, les habitants sortent le samedi et restent chez eux le dimanche. La température de consigne en chauffage et en climatisation est liée à la présence des occupants.

Pour notre recherche, nous avons préparé des tableaux (par pièce et par heure de présence) et nous avons sollicité les habitants pour qu'ils complètent ces tableaux. Un exemple de taux d'occupation pour les pièces séjour et cuisine en semaine est présenté dans le tableau 5.6.

Tableau 5.6 : Exemple de scénario d'occupation dans le séjour (3 présents : 2 adultes et 1 enfant)

Heures	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
de 0 h à 1 h	0	0	0	0	0	0	0
de 1 h à 2 h	0	0	0	0	0	0	0
de 2 h à 3 h	0	0	0	0	0	0	0
de 3 h à 4 h	0	0	0	0	0	0	0
de 4 h à 5 h	0	0	0	0	0	0	0
de 5 h à 6 h	0	0	0	0	0	0	0
de 6 h à 7 h	0	0	0	0	0	0	0
de 7 h à 8 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	0
de 8 h à 9 h	0	0	0	0	0	0	0
de 9 h à 10 h	0	0	0	0	0	100 %	100 %
de 10 h à 11 h	0	0	0	0	0	0	100 %
de 11 h à 12 h	0	0	0	0	0	0	100 %
de 12 h à 13 h	0	0	0	0	0	0	100 %
de 12 h à 14 h	0	0	0	0	0	0	100 %
de 14 h à 15 h	0	0	0	0	0	0	100 %
de 15 h à 16 h	0	0	0	0	0	0	100 %
de 16 h à 17 h	0	0	0	0	0	0	100 %
de 17 h à 18 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	100 %
de 18 h à 19 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	100 %
de 19 h à 20 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	0	100 %
de 20 h à 21 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
de 21 h à 22 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
de 22 h à 23 h	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
de 23 h à 24 h	0	0	0	0	0	100 %	100 %

Un scénario d'occupation a été établi pour chaque pièce de l'appartement ; nous les présentons tous en annexe 3.

3.3.3. Puissance dissipée par les appareils électriques

Ce type de scénario rassemble les apports internes de chaleur liés aux équipements qui libèrent de la chaleur (éclairage, cuisson, informatique, etc.) et leur durée d'utilisation.

Il faut savoir que tous les appareils électriques libèrent de la chaleur en fonction de leur puissance, sauf certains appareils, comme les lave-linge ou les lave-vaisselle, qui évacuent la chaleur directement par l'eau rejetée dans les égouts.

Un tableau de puissance dissipée, réalisé par pièce, prend en compte tous les appareils électriques trouvés dans la pièce. Un exemple de puissance dissipée en semaine pour la pièce cuisine est présenté dans le tableau 5.7.

Tableau 5.7 : Puissance dissipée pour la cuisine par heure en une semaine

Heures	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
de 0 h à 1 h	120	120	120	120	120	120	120
de 1 h à 2 h	120	120	120	120	120	120	120
de 2 h à 3 h	120	120	120	120	120	120	120
de 3 h à 4 h	120	120	120	120	120	120	120
de 4 h à 5 h	120	120	120	120	120	120	120
de 5 h à 6 h	120	120	120	120	120	120	120
de 6 h à 7 h	166	166	166	166	166	120	120
de 7 h à 8 h	616	616	616	616	616	120	120
de 8 h à 9 h	120	120	120	120	120	166	166
de 9 h à 10 h	120	120	120	120	120	616	616
de 10 h à 11 h	120	120	120	120	120	120	120
de 11 h à 12 h	120	120	120	120	120	120	120
de 12 h à 13 h	120	120	120	120	120	120	120
de 12 h à 14 h	120	120	120	120	120	120	120
de 14 h à 15 h	120	120	120	120	120	120	120
de 15 h à 16 h	120	120	120	120	120	120	120
de 16 h à 17 h	120	120	120	120	120	120	120
de 17 h à 18 h	836	836	836	836	836	836	836
de 18 h à 19 h	686	686	686	686	686	686	686
de 19 h à 20 h	166	166	166	166	166	166	166
de 20 h à 21 h	166	166	166	166	166	166	166
de 21 h à 22 h	316	316	316	316	316	316	316
de 22 h à 23 h	166	166	166	166	166	166	166
de 23 h à 24 h	166	166	166	166	166	166	166

Tableau 5.8 : Puissance dissipée pour la cuisine par heure en une journée

Heures	0_1	1_2	2_3	3_4	4_5	5_6	6_7	7_8	8_9	9_10	10_11	11_12	12_13	13_14	14_15	15_16	16_17	17_18	18_19	19_20	20_21	21_22	22_23	23_24
2 Lampe 23 Watt	0	0	0	0	0	0	46	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	46	46	46	46	46	46
Réfrigérateur + Four électrique 2000 W	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	2120	120	120	120	120	120	120
Sèche-linge 2 400 W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lave-linge 2 400 W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lave-vaisselle 1 200 W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Micro-onde 1 200 W	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	300	0	0	0	0	0
Installation pour biberon 150 W	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	150	0	0
Bouteille eau chaude (100 l) 2 résistances électriques 2*1 200 W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hood (ventilation) 220 W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	220	220	0	0	0	0	0
Total Cuisine	120	120	120	120	120	120	166	616	120	120	120	120	120	120	120	120	120	2836	686	166	166	316	166	166

Nous notons que les puissances dissipées liées aux appareils d'éclairage sont négligées dans la modélisation, car le logiciel Comfie+Pleiades intègre automatiquement la puissance dissipée générée par les appareils d'éclairage artificiel.

Un scénario de puissance dissipée a été réalisé pour chaque pièce de l'appartement ; nous les présentons tous en annexe 3.

3.3.4. Taux de ventilation

Le scénario de ventilation, défini par zone thermique, peut servir de consigne pour une ventilation extérieure ou une ventilation intérieure. Il est caractérisé par un débit nominal et une modulation horaire de ce débit par un pourcentage.

Dans le cas où aucune information nationale n'est disponible, la valeur recommandée du taux de renouvellement d'air dans les habitations est de 0,5 V/h. La mesure de débit d'infiltration réel exige de réaliser des tests spécifiques (test de la porte soufflante, caméra infrarouge, repérage des fuites par la fumée).

Pour la ventilation naturelle, le débit d'air doit correspondre à la valeur la plus grande comprise entre 0,5 m^3/h et le débit nominal. Dans le cas où aucune information nationale n'est disponible, il est possible d'évaluer le taux de renouvellement d'air à partir du niveau d'étanchéité du bâtiment (c'est ce qu'avait fait Nadine Adra dans sa thèse[92]). Le niveau d'étanchéité est défini à partir de plages de taux de renouvellement d'air sous une différence de pression de 50 Pa entre l'intérieur et l'extérieur, n50. Ce chiffre inclut les débits à travers les entrées d'air.

Tableau 5.9 : Taux de renouvellement d'air (v/h) à ventilation naturelle déterminé à partir de l'exposition au vent et de l'étanchéité du bâtiment

	N_{50}	Non abrité	Modérément abrité	Très abrité
Fort ($N_{50} \leq 40h^{-1}$)	3	0,5	0,5	0,5
Moyen ($4 \leq N_{50} \geq 10h^{-1}$)	7	0,8	0,6	0,5
Faible ($N_{50} \geq 10h^{-1}$)	10	1,5	1,1	0,7

Il est très difficile de connaître le taux de renouvellement d'air dans un appartement avec des fenêtres qui peuvent être sources d'infiltrations d'air : il varie entre 0,1 vol/h pour les bâtiments récents et 2 vol/h pour les bâtiments anciens. La ventilation externe ne doit par contre jamais être nulle, car cela correspondrait à un volume totalement étanche. Pour notre recherche, nous avons renseigné le débit nominal en vol/h (taux de renouvellement d'air) en fonction du comportement des occupants et de leurs usages, et nous avons choisi une valeur de 1 vol/h pour une ventilation normale avec des fenêtres ouvertes et fermées selon la localisation de ces dernières.

3.3.5. Niveau d'éclairement

Ce scénario définit l'éclairement en lux[93] souhaité au niveau du plan de travail de référence. En fonction des appareils d'éclairage de notre appartement de référence, nous

[92] Nadine Adra, *Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais*, thèse de doctorat. INSA de Lyon, 2001.

[93] Éclairement lumineux (lux) : c'est l'éclairement d'une surface qui reçoit, d'une manière uniformément répartie, un flux lumineux de 1 lumen par mètre carré. 1 lux = 1 lm/m^2.

pouvons estimer la valeur d'éclairement artificiel. Dans le tableau 5.10, nous indiquons les appareils d'éclairage artificiel de notre appartement de référence :

Tableau 5.10 : Caractéristiques des éclairages artificiels dans l'appartement de référence

Type d'éclairage	Nombre	Puissance (W)	Efficacité lumineuse (lm/W)	Éclairement lumineux total (lm)
Lampe fluorescente 20 cm	24	36	60	51 840
Lampe incandescence	17	23	8	3 128
Lampe spot	17	20	30	10 200
Lampe fluo compacte Osram	1	23	45	1 035
∑ W/appart =	1 618 W		∑ lux/appart =	66 203 lux

Nous pouvons constater que la puissance d'éclairage total dans l'appartement est de 1 618 W, qui équivaut[94] à 12,5 W/m^2. De la même manière, nous pouvons estimer la valeur d'éclairement lumineux (lux) pour chaque mètre carré en divisant la valeur de l'éclairement lumineux total par la surface de l'appartement : 66 203/129,81 = 510 lux.

Cette valeur est le résultat de l'utilisation de tous les appareils d'éclairage dans l'appartement. Toutefois, comme la durée d'utilisation de chaque appareil d'éclairage dépend de la présence humaine, qui est variable dans les pièces de l'appartement, nous avons choisi, pour notre cas, l'Association française de l'éclairage[95], ici de 300 lux pour un plan de travail de hauteur 0,90 m. Cet éclairement pourra être assuré en priorité par l'éclairement naturel, et basé sur les scénarios de présence, en prenant en compte les périodes de sommeil. Le tableau 5.11 montre le scénario d'éclairage dans le séjour.

[94] Surface de l'appartement = 129,81 m^2.

[95] Ademe, *Guide d'audit énergétique, U.R.E. utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment*, *1999,* chapitre 9, p. 29.

Tableau 5.11 : Scénario d'éclairage dans le séjour (en lux, pour un plan de travail de hauteur 90 cm) journée type.

Heures	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
de 0 h à 1 h	0	0	0	0	0	0	0
de 1 h à 2 h	0	0	0	0	0	0	0
de 2 h à 3 h	0	0	0	0	0	0	0
de 3 h à 4 h	0	0	0	0	0	0	0
de 4 h à 5 h	0	0	0	0	0	0	0
de 5 h à 6 h	0	0	0	0	0	0	0
de 6 h à 7 h	0	0	0	0	0	0	0
de 7 h à 8 h	0	0	0	0	0	0	0
de 8 h à 9 h	0	0	0	0	0	0	0
de 9 h à 10 h	0	0	0	0	0	0	0
de 10 h à 11 h	0	0	0	0	0	0	0
de 11 h à 12 h	0	0	0	0	0	0	0
de 12 h à 13 h	0	0	0	0	0	0	0
de 12 h à 14 h	0	0	0	0	0	0	0
de 14 h à 15 h	0	0	0	0	0	0	0
de 15 h à 16 h	0	0	0	0	0	0	0
de 16 h à 17 h	0	0	0	0	0	0	0
de 17 h à 18 h	0	0	0	0	0	0	0
de 18 h à 19 h	300	300	300	300	300	300	300
de 19 h à 20 h	300	300	300	300	300	300	300
de 20 h à 21 h	300	300	300	300	300	300	300
de 21 h à 22 h	300	300	300	300	300	300	300
de 22 h à 23 h	300	300	300	300	300	300	300
de 23 h à 24 h	300	300	300	300	300	300	300

3.3.6. Les besoins en eau chaude sanitaire

Ce scénario répartit en profils horaires le besoin hebdomadaire en eau chaude sanitaire, exprimé en litres d'eau à 40 °C, ce qui correspond à la température moyenne d'utilisation finale[96]. Ces besoins sont calculés en fonction de la densité d'occupation. Selon les chiffres officiels régionaux, le besoin en eau chaude est égal à 350 litres à 60 °C/adulte/semaine en moyenne en Liban et même en Syrie. Ces besoins sont modulés suivant les périodes d'occupation/inoccupation. Dans le tableau 5.12, nous montrons le scénario d'ECS pour un logement occupé par 3 personnes.

[96] Définition selon la méthode de calcul TH-BCE 2012.

Tableau 5.12 : Scénario ECS pour l'appartement de référence (350 l à 60 °C/adulte/semaine)

Heures	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
de 0 h à 1 h	0	0	0	0	0	0	0
de 1 h à 2 h	0	0	0	0	0	0	0
de 2 h à 3 h	0	0	0	0	0	0	0
de 3 h à 4 h	0	0	0	0	0	0	0
de 4 h à 5 h	0	0	0	0	0	0	0
de 5 h à 6 h	0	0	0	0	0	0	0
de 6 h à 7 h	0	0	0	0	0	0	0
de 7 h à 8 h	20	20	20	20	20	0	0
de 8 h à 9 h	10	10	10	10	10	5	5
de 9 h à 10 h	5	5	5	5	5	20	20
de 10 h à 11 h	5	5	5	5	5	10	10
de 11 h à 12 h	0	0	0	0	0	5	5
de 12 h à 13 h	0	0	0	0	0	5	5
de 12 h à 14 h	0	0	0	0	0	0	0
de 14 h à 15 h	0	0	0	0	0	0	0
de 15 h à 16 h	0	0	0	0	0	0	0
de 16 h à 17 h	5	5	5	5	5	0	0
de 17 h à 18 h	30	30	30	30	30	0	0
de 18 h à 19 h	5	5	5	5	5	5	5
de 19 h à 20 h	5	5	5	5	5	5	5
de 20 h à 21 h	30	30	30	30	30	30	30
de 21 h à 22 h	30	30	30	30	30	30	30
de 22 h à 23 h	5	5	5	5	5	10	10
de 23 h à 24 h	0	0	0	0	0	0	0

4. Résultats des mesures sur site et analyse

Nous avons effectué plusieurs types de mesures dans l'appartement de référence. Le premier concerne le confort : les résultats ont été obtenus par des capteurs individuels de température et d'humidité pour montrer l'évaluation de leur valeur dans chaque pièce choisie. Le deuxième type de mesure concerne la consommation énergétique dans l'appartement : les résultats montrent ces consommations électriques pour plusieurs postes de notre appartement, notamment celles concernant la climatisation et l'ECS. Le troisième type de résultat est basé sur les questionnaires proposés aux occupants pour décrire leurs comportements et utilisations énergétiques (dits « scénarios »). Notre mesure a été réalisée dans la saison d'été (du 23 juillet au 21 août 2013).

4.1. Résultats des mesures de température et d'humidité intérieures et analyse de confort

Avant de présenter les résultats des mesures prises dans notre appartement de référence, il est nécessaire d'identifier la plage de confort et la méthode d'évaluation du confort suivie dans cette étude pour connaître le niveau de confort actuel dans les pièces concernées.

Le confort thermique se définit comme la satisfaction exprimée à l'égard de l'ambiance thermique du milieu environnant.

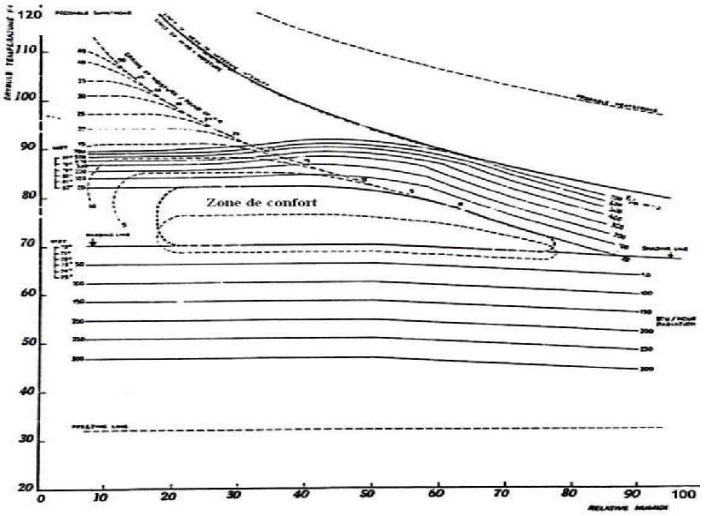
L'évaluation des conséquences de la combinaison des paramètres climatiques (temp, Hr, vent…) sur la sensation de l'individu et sur son comportement physiologique nécessite l'utilisation d'outils conventionnels qui permettent de réaliser une analyse rapide.

Ces méthodes intègrent des facteurs météorologiques qui peuvent être exprimés sous forme de représentations graphiques, de diagrammes ou de tableaux, et qui sont basés sur des expérimentations.

Parmi ces méthodes, on peut citer : les diagrammes bioclimatiques de V. Olgyay, B. Givoni et S. Szokolay.

V. Olgyay est le premier chercheur à avoir mis en place une méthode systématique afin d'accommoder les constructions aux exigences de l'homme et aux conditions climatiques[97]. Selon cette méthode, il est difficile d'évaluer le confort de façon précise, car il est dépendant de plusieurs considérations qui varient d'une personne à une autre. En mettant en relation les quatre éléments climatiques intervenant sur le confort, soit la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse de l'air et le rayonnement solaire, Olgyay propose un diagramme bioclimatique où la zone de confort est variable en fonction de la prédominance de certains facteurs.

Figure 5.9 : Diagramme d'Olgyay[98]



Ce procédé a été vivement critiqué car son objectif principal était le rendement de travail et non le confort thermique, et qu'il n'est applicable que pour les climats chauds et humides et les constructions légères, du fait qu'il n'y a pas une grande différence entre les conditions climatiques intérieures et extérieures[99].

Selon Givoni, plusieurs facteurs déterminent le confort thermique. Il s'agit de : la température de l'air ; l'humidité relative ; la température de la peau ; la température radiante des surfaces environnantes ; la vitesse du mouvement d'air ; la quantité et le type de vêtements portés et le degré d'activité physique[100]. Il situe la zone de confort d'un espace intérieur entre 18 °C et 25 °C en hiver, et entre 20 °C et 27 °C en été. Le diagramme

---

[97] A. Konya, *Design primer for hot climates*, Londres, The Architectural Press, 1980.

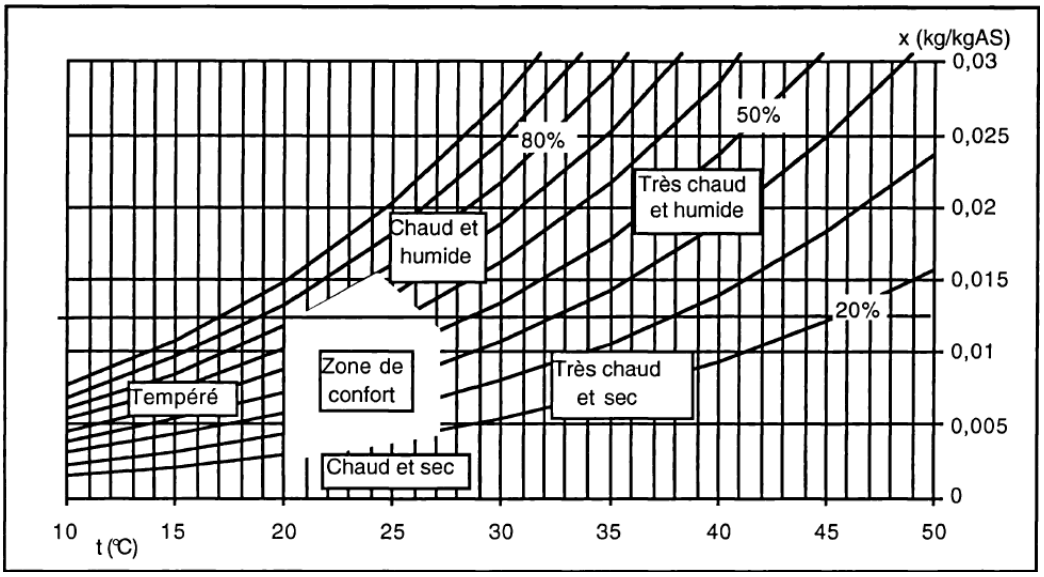
[98] V. Olgyay, *Design with climate*, Princeton University Press, New Jersey, 1963, p. 21.

[99] B. Givoni, *L'Homme, L'Architecture et le Climat*, Paris, Le Moniteur, 1978.

[100] *Ibid.*, p. 77-88.

bioclimatique de Givoni ne considère que les effets combinés de la température sèche et de l'humidité absolue ; l'effet de la ventilation vient en complément et non pour établir la zone de confort (cf. figure 5.10).

Figure 5.10 : Diagramme bioclimatique de B. Givoni (où t est la température sèche, x l'humidité absolue)[101]



Pour notre étude, la méthode retenue pour évaluer le confort est basée sur le diagramme de Givoni, selon le taux d'humidité et la température ambiante (sèche).

Trois pièces ont été choisies pour les mesures de température et d'humidité, pour leur occupation et de leur position dans l'appartement :

- la chambre principale (*Master bedroom*) du fait de son orientation vers le sud et de l'installation qui y a été faite d'un appareil de climatisation (split) qui est souvent actif quelques heures par jour durant les mois d'été ;
- le salon, de par son orientation au nord ;
- la cuisine, du fait de sa position à l'intérieur de l'appartement et des valeurs importantes des puissances dissipées libérées par les appareils électroménagers installés dans cette pièce.

Des capteurs individuels de type LascaElectronic (voir figure 5.4) ont réalisé des mesures toutes les 5 minutes, et ont enregistré les résultats pour toute la période de mesure (du 23 juillet au 21 août 2013). Par la suite, nous avons traité ces résultats sous la forme d'un tableau Excel pour pouvoir les représenter dans une courbe. Les figures 5.11, 5.14 et 5.17 montrent les variations de la température (°C) et de l'humidité (%) dans les différentes pièces de l'appartement pour toute la période de mesure, tandis que les figures 5.12, 5.15 et 5.18 montrent ces variations dans une journée type déterminée : le jour numéro 213 dans l'année :

[101] Alain Chatelet, Pierre Fernandez, Pierre Lavigne, *Architecture climatique : une contribution au développement durable*, t. 2 : *Concepts et dispositifs*, Aix-en-Provence, Edisud, 1998.

4.1.1. Résultats pour la cuisine

Nous rappelons que la cuisine est situé à l'intérieur de l'appartement, ouvert en quasi permanence sur la salle à manger qu'est ouverte directement sur l'extérieur. La figure 5.11 montre les variation de température intérieur dans cette pièce dans la période de la mesure (entre 23 juillet et 21 août). Ainsi la figure 5.12 montre la variation des température et d'humidité dans une journée type (la journée 213).

Figure 5.11 : Variation de la température (°C) et de l'humidité (%) dans la cuisine et la température extérieur. (23 juillet au 21 août 2013)

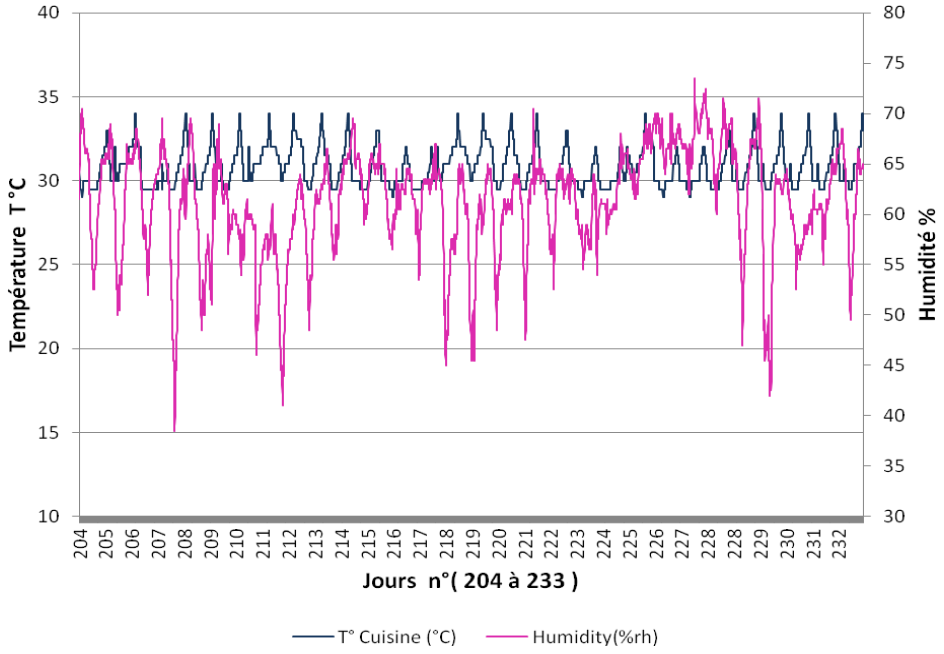
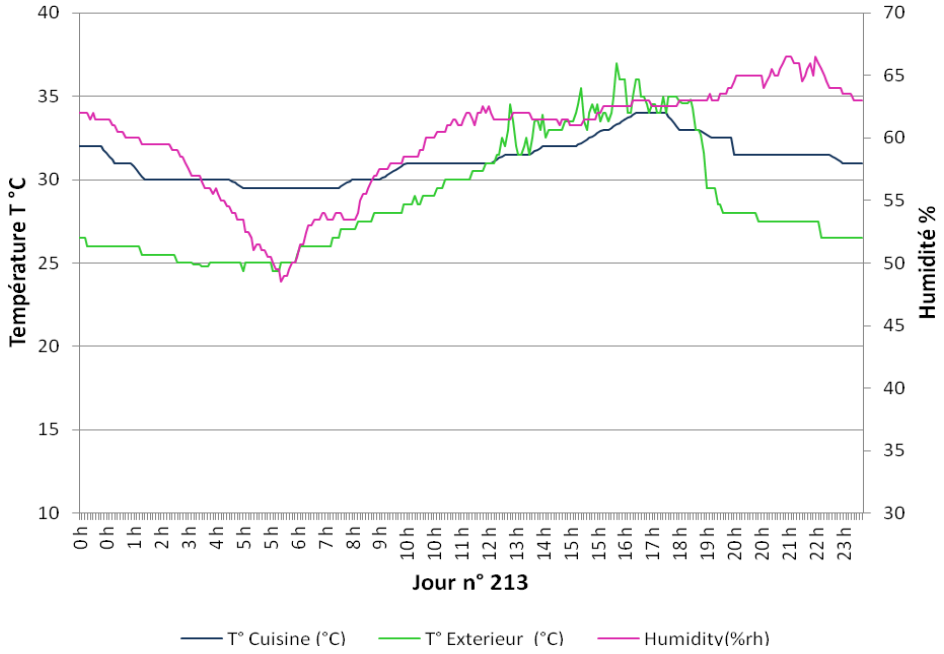


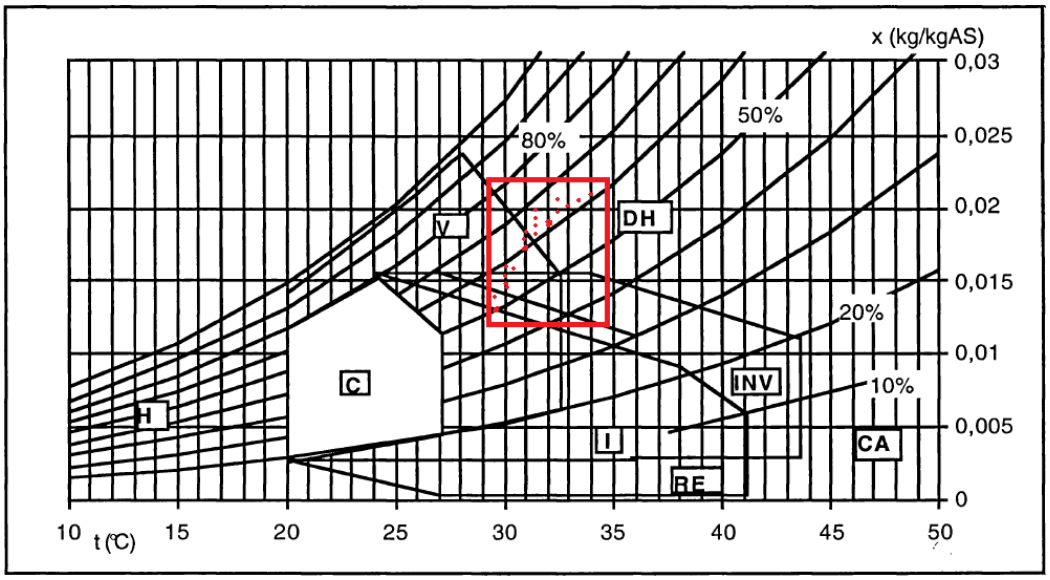
Figure 5.12 : Variation de la température (°C) et de l'humidité (%) dans la cuisine et la température extérieur. (jour n° 213)



Nous remarquons que la température reste quasi stable dans la cuisine, entre 34 °C maximum dans la journée à 18 heures, et 29 °C dans la nuit. Ceci est dû à plusieurs raisons : le pic de température survient à l'heure de la préparation des repas, du fait de la chaleur libérée par la cuisson et d'autres appareils électroménagers, ce qui fait monter la température. L'ouverture quasi permanente de la fenêtre et de la porte qui donne sur la salle à manger, laquelle est ouverte sur l'extérieur, provoque un échange direct sans obstacle avec l'extérieur. C'est l'absence d'une ventilation permanente pour évacuer la chaleur qui explique que cette pièce, malgré sa position centrale à l'intérieur de l'appartement et l'absence d'apports solaires directs, connaisse une température élevée.

Pour évaluer le confort dans cette pièce lors d'une journée type (la journée n° 213, par exemple), nous avons tracé les points correspondant aux valeurs de température sèche et d'humidité relative dans le diagramme de Givoni :

Figure 5.13 : Diagramme bioclimatique de Givoni appliqué à la cuisine (jour n° 213)



La figure 5.13 montre que l'ambiance, dans cette pièce, est chaude (ou très chaude) et humide toutes les 24 heures, avec une absence totale de confort.

4.1.2. Résultats pour la *Master bedroom*

La chambre Master bed-room, est la pièce des parents, orientée vers le sud par une façade vitrée sans protection solaire et sans vis à vis. La figure 5.14 montre les variation de température intérieure dans cette pièce dans la période de la mesure (entre 23 juillet et 21 août). Ainsi la figure 5.15 montre la variation des température et d'humidité dans une journée type (la journée 213).

Figure 5.14 : Variation de la température (C°) et de l'humidité (%) dans la *Master bedroom* et la température extérieur. (23 juillet au 21 août 2013)

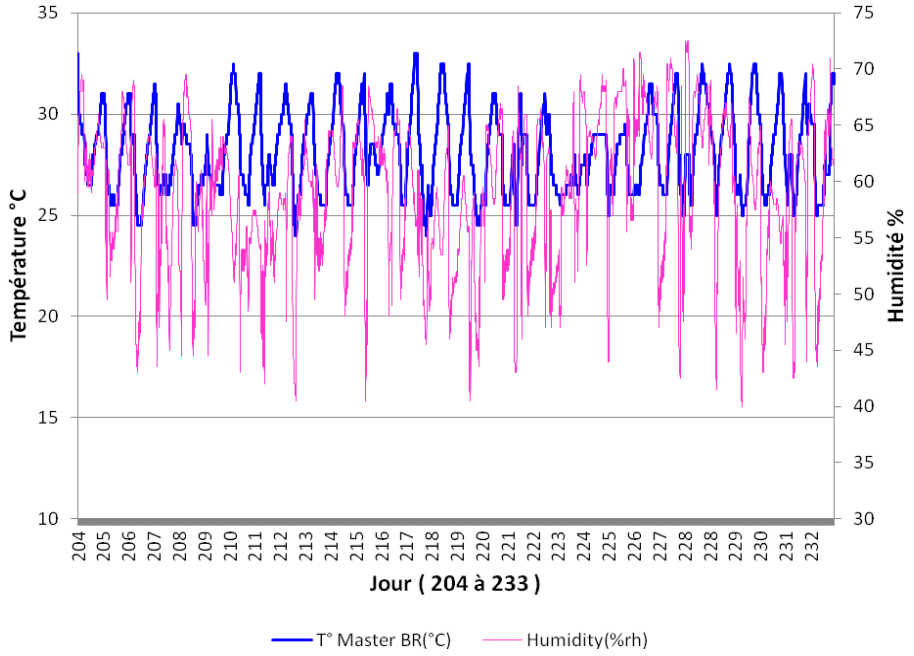
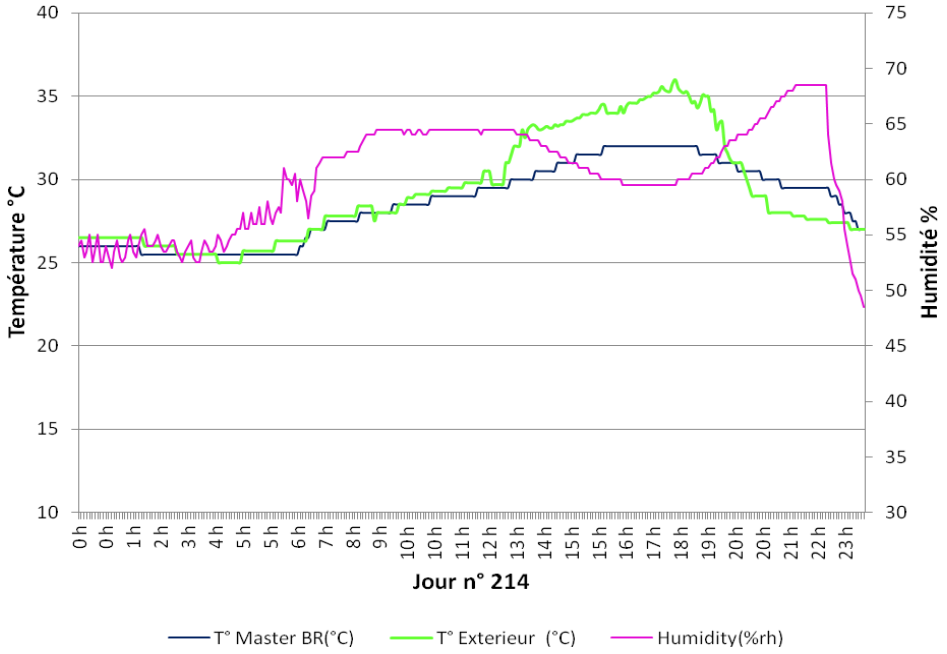


Figure 5.15 : Variation de la température (°C) et de l'humidité (%) dans la *Master bedroom* et la température extérieur. (jour n° 214)

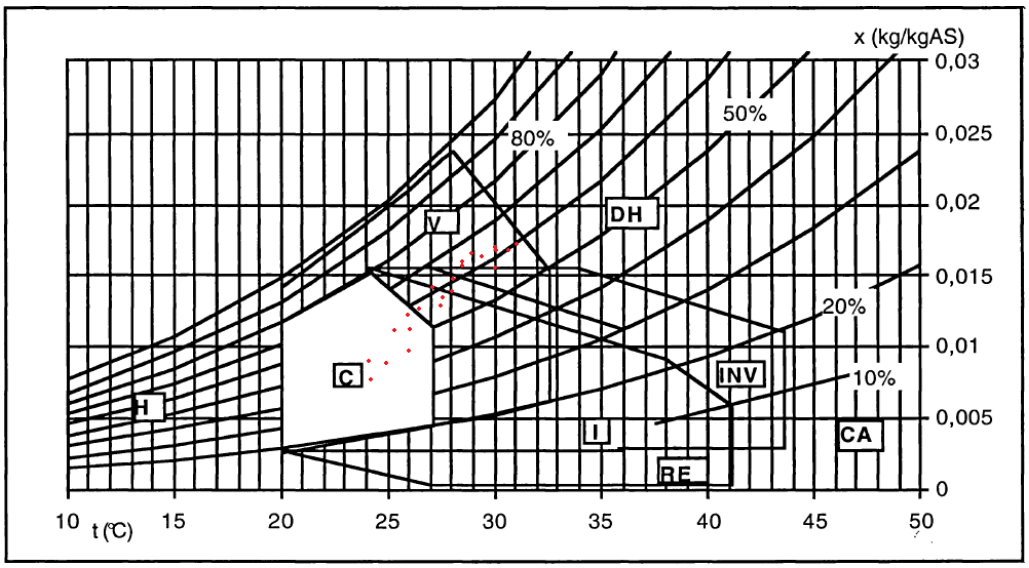


Dans la chambre des parents (*Master bedroom*), nous remarquons des pics de température qui peuvent atteindre 33 °C entre 14 heures et 22 heures. Cette température élevée provient de l'orientation des fenêtres au sud, donc d'un apport solaire important en l'absence de protection solaire. Par contre, nous remarquons une baisse de température à 26 °C à partir de 23 heures. Ceci reflète l'heure de démarrage de l'appareil de climatisation (split), qui va

travailler toute la nuit et maintenir la température ambiante autour de 26 °C pour atteindre le confort souhaité par les occupants.

Pour évaluer le confort dans cette pièce pour une journée type (la journée n° 213, par exemple), nous avons tracé les points correspondant aux valeurs des températures sèches et de l'humidité relative dans le diagramme de Givoni :

Figure 5.16 : Diagramme bioclimatique de Givoni appliqué à la *Master bedroom* (jour n° 213)



La figure 5.16 montre que l'ambiance, dans cette pièce, est confortable pendant 9 heures sur 24, c'est-à-dire pendant la période de climatisation. Les 15 heures restantes, l'ambiance est chaude et humide : il y a alors absence de confort.

4.1.3. Résultats pour le salon

Le salon est la pièce le moins occupée dans l'appartement, orientée vers le nord, et elle donne sur un balcon par une porte et une fenêtre. La figure 5.17 montre les variation des température intérieure dans cette pièce dans la période de la mesure (entre 23 juillet et 21 août). Ainsi la figure 5.18 montre la variation des températures et humidité dans une journée type (la journée 213).

Figure 5.17 : Variation de la température (°C) et de l'humidité (%) dans le salon et la température extérieur. (23 juillet au 21 août 2013)

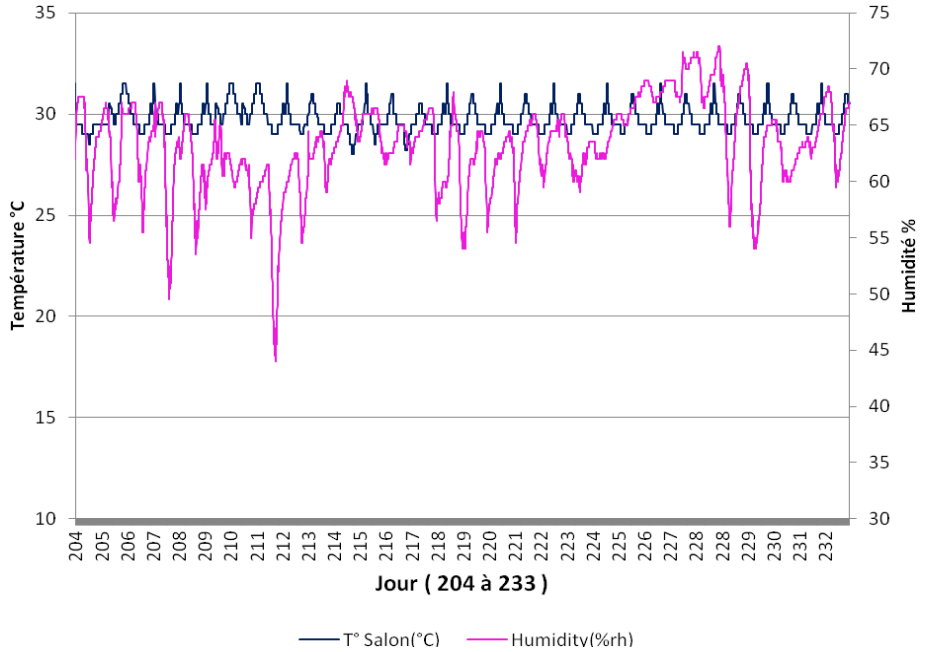
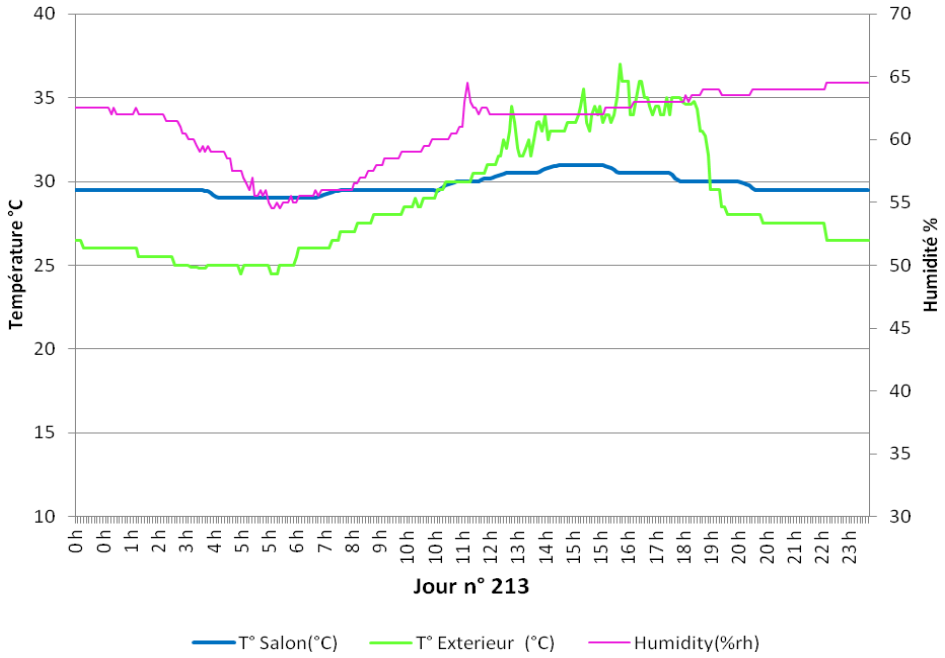


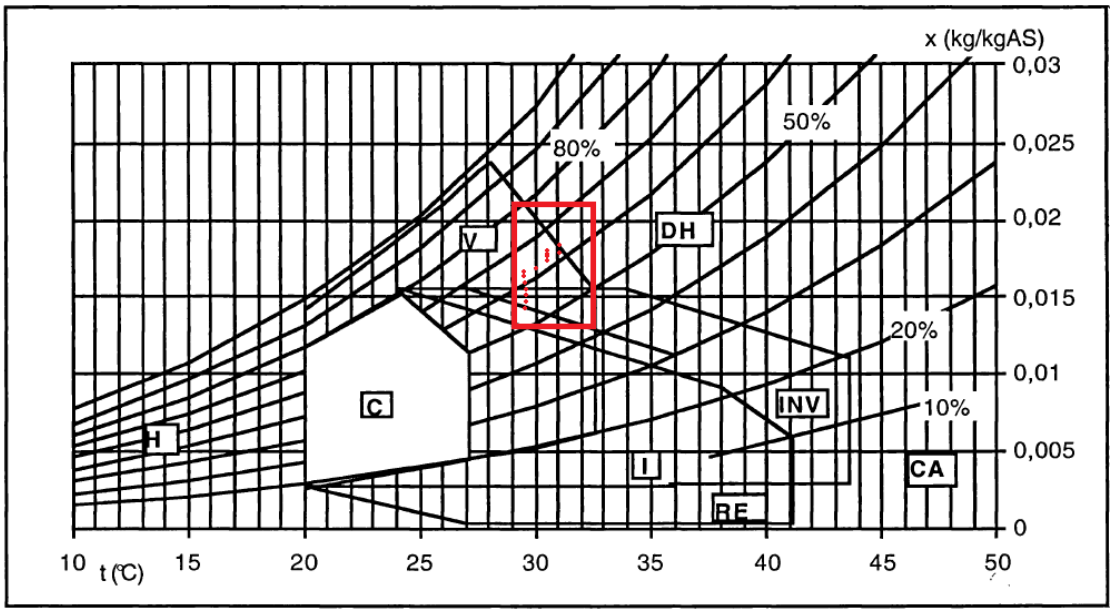
Figure 5.18 : Variation de la température (°C) et de l'humidité (%) dans le salon et la température extérieur. (jour n° 213)



En ce qui concerne le salon, nous observons que la température est stable, entre 29 et 31 °C. Ceci provient de l'orientation nord de cette pièce, avec un apport solaire faible. Les balcons de l'étage au dessus jouent le rôle de masques solaires qui protègent cette pièce de l'effet du rayonnement solaire direct et diffus.

Pour évaluer le confort dans cette pièce pour une journée type (la journée n° 213, par exemple), nous avons tracé les points correspondant aux valeurs des températures sèches et de l'humidité relative dans le diagramme de Givoni :

Figure 5.19 : Diagramme bioclimatique de Givoni appliqué au salon (jour n° 213)



La figure 5.19 montre que l'ambiance, dans cette pièce, est chaude (ou très chaude) et humide pendant toute la période de 24 heures mesurée, avec une absence de confort à 100 %.

4.2. Résultats des mesures des consommations énergétiques (du 26 juillet 2013 au 21 août 2013)

Les 6 branchements du multivoie ont été liés aux 6 sorties disponibles suivantes du tableau électrique principal de notre appartement de référence :

1– Chambre + séjour. 2– Salon. 3– Eau chaude. 4– Réfrigérateur + four électrique. 5– Lave-linge + lave-vaisselle + sèche-linge. 6– *Master bedroom*.

Notons que nous avons trouvé 10 sorties sur le tableau électrique, et que notre choix en matière de sorties avait pour but de connaître les consommations électriques pour les postes de climatisation et d'ECS et d'avoir une idée de la consommation électrique dans plusieurs postes.

Cet appareil de mesure de la consommation électrique fonctionne en continu sur le tableau électrique principal de l'appartement. Les résultats obtenus sont représentés dans les figures 5.20 et 5.21, que nous expliquons ensuite :

Figure 5.20 : Mesure de la puissance électrique pour chaque voie (26 juillet au 21 août 2013)

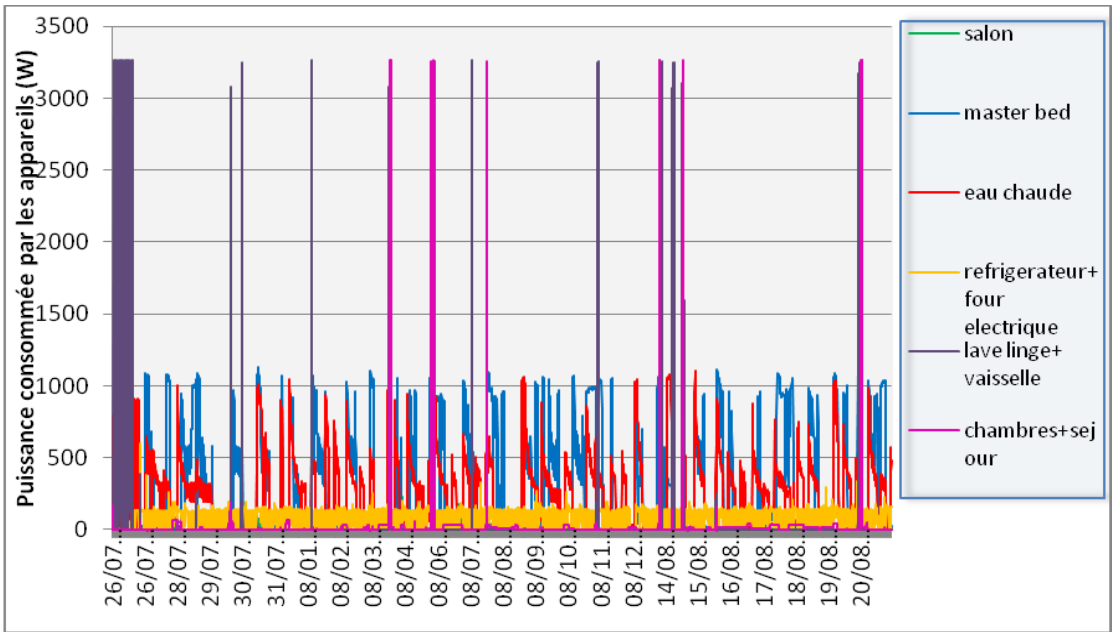
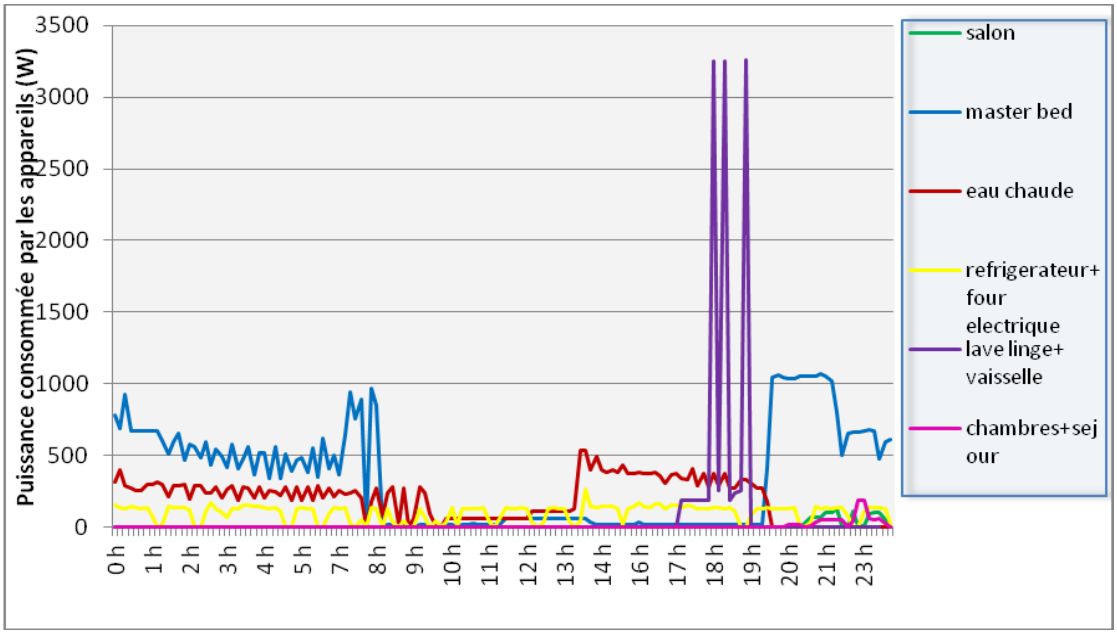


Figure 5.21 : Mesure de la puissance électrique pour chaque voie pour une journée type (jour n° 214)



4.2.1. Salon

Nous pouvons remarquer qu'il n'y a que très peu de consommation dans le salon pendant la période de mesure, malgré l'existence d'un appareil de climatisation, de lampes et de fluorescents de type Tungstram dans cette pièce. Les habitants assurent en effet qu'ils ne l'utilisent quasiment pas. La comparaison de ces valeurs de mesures avec les informations

fournies par les occupants montre que ceux-ci arrivent à estimer la durée d'utilisation des lampes avec une marge d'erreur acceptable (1,74 kWh).

4.2.2. *Master bedroom*

La consommation électrique dans cette pièce, selon la mesure, est de 194 kWh durant la période évaluée (26 juillet au 21 août). Cette haute consommation provient de l'utilisation de l'unité de split quasiment toute la nuit et quelques heures dans la journée pour rafraîchir l'atmosphère. L'appareil marche toute la nuit en mode automatique pour maintenir une température intérieure de 26°C. Le reste de la consommation provient de l'éclairage et d'autres postes, comme le chargeur portable.

Précisons que l'appareil de climatisation (split) est constitué de deux unités : le compresseur est installé à l'extérieur, et la distribution du froid est réalisée par l'unité intérieure dans la chambre.

4.2.3. Chambre d'enfant et séjour

La puissance et la consommation des appareils ont été mesurées pour 3 lampes et 4 appareils qui sont les suivants : TV, lecteur de DVD, décodeur et aspirateur. Les mesures prennent en compte le mode de veille des appareils. La consommation électrique, durant la période évaluée, est de 14,8 kWh, et la majeure partie de la consommation s'effectue en soirée.

4.2.4. Eau chaude

Un ballon d'eau chaude a été installée dans l'appartement avec 2 résistances électriques. Les occupants ont mis ce chauffe-eau en mode automatique pour maintenir une eau chaude à température stable (60 °C) toute la journée. La consommation de cette bouteille dans la période de notre mesure est de 157,24 kWh.

4.2.5. Réfrigérateur

On constate une consommation quasi stable pour ces appareils au fil des heures, ce qui s'explique par le fonctionnement continu du réfrigérateur. Le résultat de la mesure est de 61,4 kWh.

4.2.6. Lave-linge et lave-vaisselle

La courbe de consommation électrique pour ces appareils (figure 5.20 et 5.21) montre un pic du fait de la haute puissance demandée à l'heure de démarrage pour chauffer l'eau et faire fonctionner les machines. La consommation électrique pour ces deux appareils est de 45,7 kWh pendant la période de la mesure.

La consommation électrique de cet appartement, pour les 6 sorties choisies, est de **475,2** kWh durant la période de mesure. Cette valeur ne représente qu'une part de la consommation totale de l'appartement.

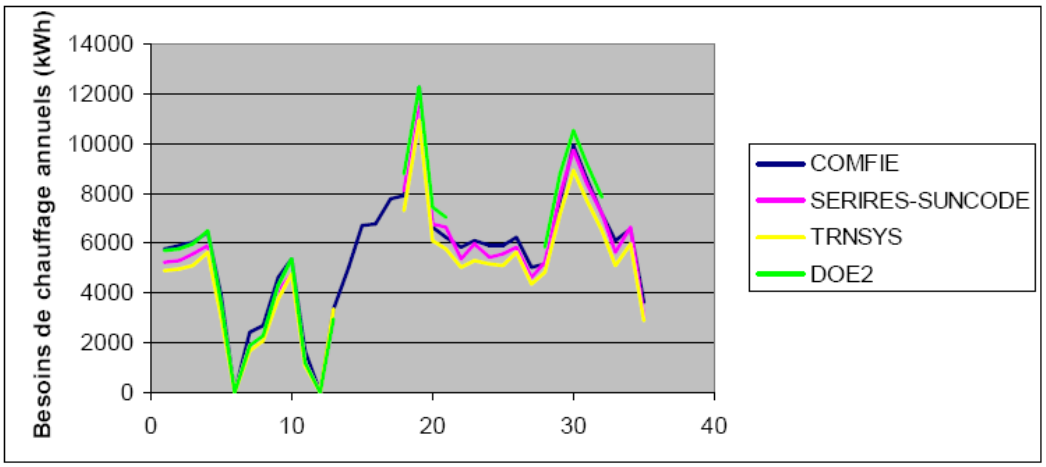
Les résultats recueillis par nos questionnaires auprès des occupants et les mesures sur site sont à comparer avec les résultats d'analyse thermique dynamique qui seront l'objet de notre prochaine étape.

5. Le choix de l'outil de simulation thermique dynamique

Les outils de simulation thermique dynamique permettent d'évaluer les besoins énergétiques et le niveau de confort thermique des bâtiments de manière plus détaillée que les méthodes simplifiées, basées sur des bilans mensuels.

Une comparaison entre les logiciels STD (TRNSYS, DOE-2, Serires et Comfie-Pleiades), réalisée en 2005 par Bruno Peuportier[102] sous le titre « Bancs d'essais de logiciels de simulation thermique »[103], apporte une contribution à l'état des lieux en matière de validation des outils de simulation thermique des bâtiments, et permet de comparer les résultats des simulations à des mesures. Comfie-Pleiades a donc été testé et validé par le comparatif suivant, pour un cas d'étude référencé :

Figure 5.22 : Résultats comparatifs concernant les besoins en chauffage annuels

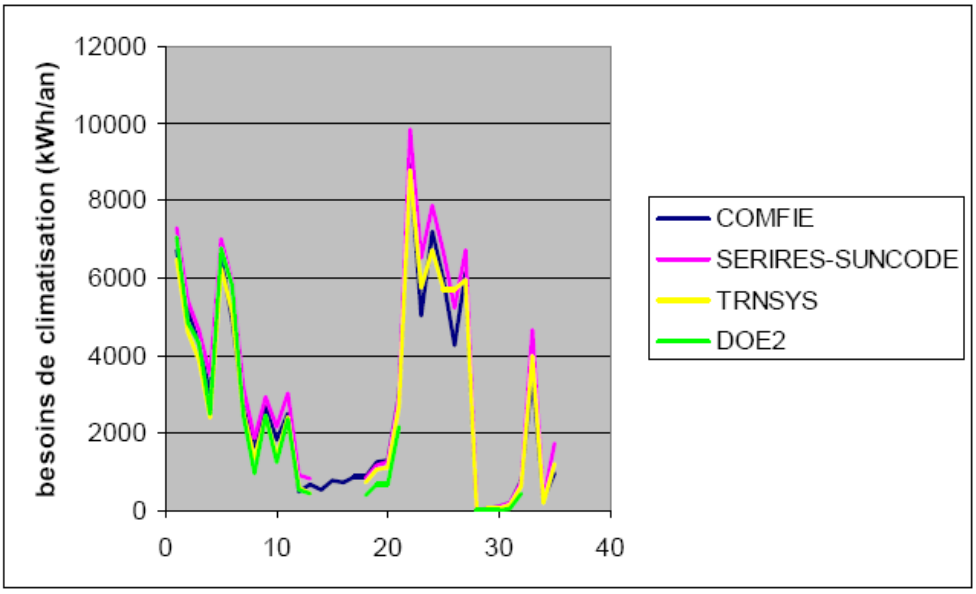


Les écarts entre les logiciels restent relativement faibles : en moyenne 10 % par rapport à DEO-2 et Serires, 16 % par rapport à TRNSYS. Il convient de noter que les écarts les plus importants en valeur relative correspondent aux plus faibles besoins. D'autre part, la sensibilité aux différents paramètres est assez proche (remarquons que certains logiciels ne calculent pas tous les cas).

En ce qui concerne les besoins en climatisation, les écarts sont du même ordre (15 %) avec TRNSYS et Serires, alors que DOE-2 donne des besoins beaucoup plus faibles que les autres logiciels pour les cas sans apport solaire ni interne.

[102] Peuportier Bruno, Bancs d'essais de logiciels de simulation thermique, Journée thémathique SFT-IBPSA, école des Mines de Paris, Paris, Mars 2005

Figure 5.23 : Résultats comparatifs concernant les besoins en climatisation



Notons que des écarts peuvent apparaître entre les outils en ce qui concerne les besoins en chauffage et en climatisation des bâtiments, mais que les sensibilités aux principaux paramètres (enveloppe, équipements) sont analogues.

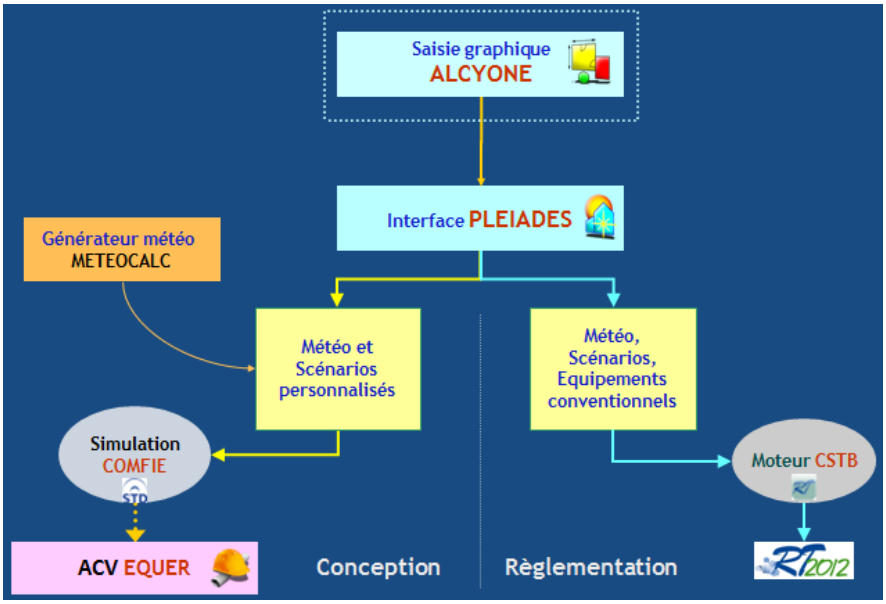
5.1. Le choix de Comfie-Pleiades

Le logiciel Comfie-Pleiades est un outil de simulation thermique dynamique de bâtiment développé par le Centre énergétique et procédés de Mines ParisTech depuis plusieurs années, avec le soutien de l'Ademe. Il est particulièrement adapté à la conception solaire bioclimatique et à la réalisation de bâtiments où la qualité thermique et environnementale des ambiances est particulièrement prise en compte. Le logiciel calcule le comportement de différentes zones thermiques d'un bâtiment en régime dynamique. Il permet également de simuler le comportement d'une serre, de détecter d'éventuelles surchauffes d'été ou de comprendre l'influence d'une ventilation sur le confort thermique. Il autorise également à suivre heure par heure les consommations (et le confort thermique) pour le chauffage et la climatisation. Avec sa grande bibliothèque (matériaux, éléments, systèmes, équipements, etc.) et la possibilité de modéliser tous les éléments souhaités dans l'enveloppe et le système, Comfie-Pleiades représente un outil efficace de simulation, bien adapté à des études d'avant-projet comme au contrôle sur un bâtiment existant. Le comportement thermique du bâtiment est très complexe du fait des transferts thermiques se produisant simultanément et de la variation des conditions le sollicitant (conditions climatiques). Comfie-Pleiades intègre ces phénomènes dans la modélisation thermique et permet d'inclure toutes les données métrologiques dans son calcul avec un format (TYR).

À travers son interface graphique, l'utilisation du logiciel Comfie-Pleiades est simple et pratique.

Ce sont les raisons qui ont présidé à notre choix de ce logiciel. La figure 5.24 montre l'organigramme de Comfie-Pleiades :

Figure 5.24 : Organigramme de Comfie-Pleiades[104]



Comfie-Pleiades est composé des 4 unités suivantes :

1- Alcyone : est l'interface graphique du logiciel, conçue pour faciliter la saisie des bâtiments. Elle permet de définir l'ensemble des paramètres géométriques du bâti, d'attribuer à chaque élément (paroi, fenêtre, etc.) ses caractéristiques thermiques, de préparer le zonage thermique et d'affecter les scénarios d'utilisation. Elle peut présenter le projet en 2D et en 3D.

Figure 5.25 : Saisies graphiques sur Alcyone en 2D et 3D

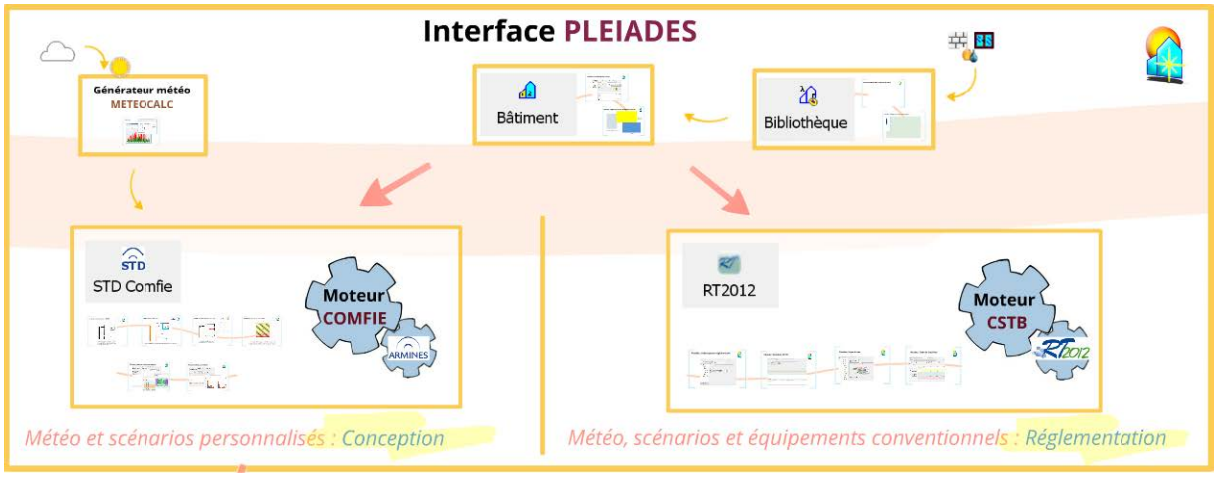
2- Pleiades : est l'unité centrale de calcul, avec la bibliothèque générale de projets et les bâtiments du sujet. Pleiades est supporté par 2 moteurs de calcul, pour deux types de calcul différents :

I- Moteur Comfie : pour le calcul STD multizone.

II- Moteur CSTB : pour le calcul réglementaire RT2012.

[104] http://www.izuba.fr

Tableau 5.13: Organigramme de Pleiades.



3- Meteocalc : est le module de traitement et de génération de fichier météorologique, Comfie-Pleiades intègre ce module qui permet de créer une donnée météo propre et utilisable en simulation thermique dynamique (STD).

4- Equer : est le module de calcul de l'analyse de cycle de vie ACV bâtiment. Notons que nous n'allons pas utiliser ce module dans notre recherche, car ce n'est pas notre but que de calculer l'AVC du bâtiment

La simulation réalisée par Comfie-Pleiades va être effectuée en fonction de l'emplacement, de l'orientation, du site météo, des matériaux de construction et des propriétés physiques et thermiques, de l'architecture, de la géométrie du bâtiment, du comportement des occupants et des systèmes énergétiques utilisés (chauffage et climatisation).

5.2. Principe de calcul

La simulation thermique consiste à étudier l'évolution des températures et des besoins énergétiques du bâtiment sur une certaine période avec un certain pas de temps.

La méthode de calcul utilisée par le logiciel Comfie-Pleiades est basée sur un système de maillage dont nous décrivons ci-après quelques principes.

Le bâtiment étudié dans Comfie-Pleiades peut être modélisé par une ou plusieurs zones thermiques, chaque zone étant considérée à température homogène. Une zone est délimitée par un certain nombre de parois, qui sont elles-mêmes découpées en mailles. Une zone peut regrouper plusieurs pièces ; dans ce cas, les parois séparant deux pièces d'une même zone seront appelées « parois internes ». Une maille correspond au volume d'air contenu dans la zone, aux parois internes légères (c'est-à-dire, par convention, de capacité thermique surfacique inférieure à 7 Wh/K/m^2), supposées être à la même température que l'air.

Un bilan thermique est effectué pour chaque maille de la manière suivante : l'énergie stockée durant le pas de temps, qui dépend de la capacité thermique de la maille, est égale à l'énergie reçue (par l'équipement de chauffage, le rayonnement solaire, les occupants…) moins l'énergie perdue (déperditions).

Dans un premier temps, un modèle thermique est créé pour chaque zone thermique. Ce modèle est ensuite réduit en considérant un nombre limité d'équations correspondant à différentes constantes de temps du système (chaque constante de temps correspond à l'inertie thermique de certains composants, par exemple un plancher lourd, des cloisons légères, des murs, etc.). Les modèles réduits de chaque zone sont ensuite couplés : dans une cloison séparant deux zones, la température du côté d'une zone constitue une sortie de cette zone et

une entrée de la zone adjacente. Cette étape conduit à un modèle global du bâtiment permettant d'effectuer un calcul à chaque pas de temps.

5.2.1. Transfert de chaleur dans une paroi extérieure :

L'absorption du rayonnement solaire incident par les parois opaques est calculée par un bilan thermique au niveau de la surface absorbante, en fonction du facteur d'absorption de cette surface. Le rayonnement incident absorbé est réparti entre une quantité pénétrant dans la maille la plus extérieure du mur et une quantité perdue vers l'ambiance extérieure (transferts radiatifs et convectifs).

Cette dernière quantité est beaucoup plus faible dans le cas où la paroi est revêtue d'une couche d'isolant transparent, car la plus grande résistance thermique est située à l'extérieur de la surface absorbante. La plus grande partie du rayonnement incident (réduit selon le taux de transmission à travers l'isolant) pénètre ainsi vers l'intérieur du mur.

5.2.2. Coefficients de transfert superficiel (h_{int} et h_{ext})

Les transferts radiatifs et convectifs sont pris en compte dans un coefficient global, évalué pour chaque paroi en fonction de son inclinaison et de son exposition au vent pour la partie convective, de ses propriétés optiques pour la partie radiative. On considère trois niveaux d'exposition au vent pour déterminer ces coefficients de transfert globaux à la surface externe des parois : « normal », « abrité » et « sévère » (cf. le tableau suivant).

Les coefficients de transfert du côté intérieur aux parois, par contre, ne dépendent pas, dans le modèle, de la vitesse de l'air à l'intérieur des locaux (supposée faible par rapport à celle du vent). Ils sont fonction de l'inclinaison des parois (horizontale ou verticale) et, en cas de paroi horizontale, du sens du transfert. Ce sens est supposé toujours ascendant dans le cas d'un plafond et toujours descendant dans le cas d'un plancher, si ces parois sont en contact avec l'extérieur. Dans le cas de parois internes, une valeur moyenne entre les cas ascendant et descendant a été fixée (cf. le tableau suivant 5.14).

Les transferts radiatifs, à la surface des parois d'une zone, dépende de l'émissivité de la surface. Les valeurs considérées sont données dans le tableau suivant en W/(m².K).

Si un plafond est contigu à un grenier ventilé (non modélisé, car considéré à la température extérieure), la valeur de h_{ext} est 7,14 W/(m².K) pour une émissivité de 0,9, et 4 W/(m².K) pour une émissivité nulle.

Si un plancher est situé sur un vide sanitaire ventilé, la valeur de h_{ext} est 6,25 W/(m².K) pour une émissivité de 0,9, et 3,33 W/(m².K) pour une émissivité nulle. Dans tous les cas, une interpolation est effectuée pour les autres valeurs de ε.

Tableau 5.14 : Coefficients de transfert superficiel de paroi (interntérieur/ extérieur)[105]

position de la paroi	émissivité	hint	hext pour normale	abritée	sévère
verticale	0.9	8.13	18.2	12.5	33.3
verticale	0	3.29	14.9	9.1	33.3
plafond externe	0.9	9.43	22.2	14.3	50
plafond externe	0	4.59	18.9	11.1	50
plancher externe	0.9	6.67	20	20	20
plancher externe	0	1.78	20	20	20
horizontale interne	0.9	8	-	-	-
horizontale interne	0	3	-	-	-

Lorsque l'on emploie de tels coefficients globaux, la température de zone n'est pas exactement la température d'air, mais une combinaison de cette température d'air avec la température des surfaces des parois. On suppose que cette température de zone est équivalente à une température résultante (moyenne entre la température d'air et la moyenne des températures des surfaces), qu'elle peut être utilisée en simulation pour la régulation de l'équipement de chauffage et qu'elle constitue un indicateur satisfaisant du niveau de confort dans la zone.

Les transferts radiatifs grande longueur d'onde vers l'extérieur (sol, ciel, bâtiments environnants…) sont également inclus dans les coefficients h_{ext}. La donnée de la température de ciel n'est pas prise en compte dans ce modèle : le rayonnement supplémentaire, par rapport au rayonnement calculé vers la température extérieure a une influence faible, surtout si la paroi émettrice est isolée.

5.2.3. Calcul des sollicitations de flux solaire

Les flux solaires sur des plans d'orientation et d'inclinaison donnés sont calculés heure par heure à partir des données climatiques (rayonnement global horizontal G_h, diffus horizontal Dif_h et direct normal Dir_n), les rayonnements diffus et réfléchis par le sol étant considérés comme isotropes.

On distingue ensuite les masques « lointains » (autres bâtiments, arbres…) et les masques « intégrés » (balcon, avancée de toiture faisant partie du bâtiment lui-même). La prise en compte des masques lointains est différente pour le rayonnement direct et pour le rayonnement diffus. Si la hauteur angulaire du soleil est supérieure à la hauteur angulaire du

[105] http://www.izuba.fr

masque pour l'azimut du soleil considéré, alors la paroi reçoit la totalité du rayonnement direct. Dans le cas contraire, le rayonnement est totalement arrêté par le masque. En ce qui concerne le rayonnement diffus.

Le facteur d'ombre des masques intégrés concernant le rayonnement direct est le ratio de la surface ombragée par la surface totale du vitrage ou de la paroi considérée. Cette surface ombragée est calculée géométriquement. En ce qui concerne le rayonnement diffus, on ne considère un facteur d'ombre que pour les masques situés au-dessus de la surface considérée : arêtes horizontales, balcons, acrotères et retraits de fenêtre. Si a est l'avancée du masque, d le débord et h la hauteur de la surface considérée.

En ce qui concerne les arêtes verticales, on considère que le rayonnement diffus réfléchi par une arête compense celui qu'elle intercepte, et donc le facteur d'ombre vaut 1 pour la partie diffuse.

Le flux solaire traversant les vitrages forme pour chaque zone une sollicitation unique, en prenant en compte éventuellement de pourcentage d'occultation donné par un scénario horo-journalier, le taux de transmission à travers les plantations (valeur variant mois par mois) et le facteur solaire du vitrage, qui varie en fonction de l'angle d'incidence.

5.2.4. Sollicitation de puissance interne

Cette sollicitation ne concerne pas que l'équipement de chauffage/rafraîchissement, mais également la puissance dissipée à l'intérieur de la zone, la chaleur dégagée par les occupants, la partie variable de la ventilation extérieure, les échanges entre zones par mouvement d'air naturel, et les variations des déperditions dues aux occultations variables.

Toutes ces puissances sont additionnées dans une sollicitation unique pour chaque zone, appliquée à la maille d'air (incluant également les cloisons légères).

Le terme concernant un équipement de chauffage/rafraîchissement est limité à une puissance maximale que peut fournir l'équipement (en général, l'équipement est dimensionné à une puissance supérieure au maximum nécessaire pour atteindre la température de consigne).

En ce qui concerne les échanges par mouvement d'air naturel entre zones, une procédure itérative calcule l'énergie échangée en fonction de la moyenne sur le pas de temps de la différence de température entre les deux zones.

Tous les autres termes inclus dans la puissance interne (ventilation mécanique entre deux zones, apports internes, chaleur des occupants, résistance thermique variable des occultations) sont déduits des scénarios horo-journaliers donnés par l'utilisateur.

5.2.5. Intégration et résultats

Un certain nombre de grandeurs sont intégrées sur la période de simulation : les charges de chauffage et (éventuellement) de rafraîchissement. Les températures maximale, minimale et moyenne pour chaque zone sont également déterminées.

Le logiciel fournit en sorties, heure par heure, les puissances thermiques (positives pour la chaleur, négatives pour le froid) et les températures des différentes zones. L'utilisateur peut ainsi connaître les besoins énergétiques et le niveau de confort du bâtiment pendant la période considérée.

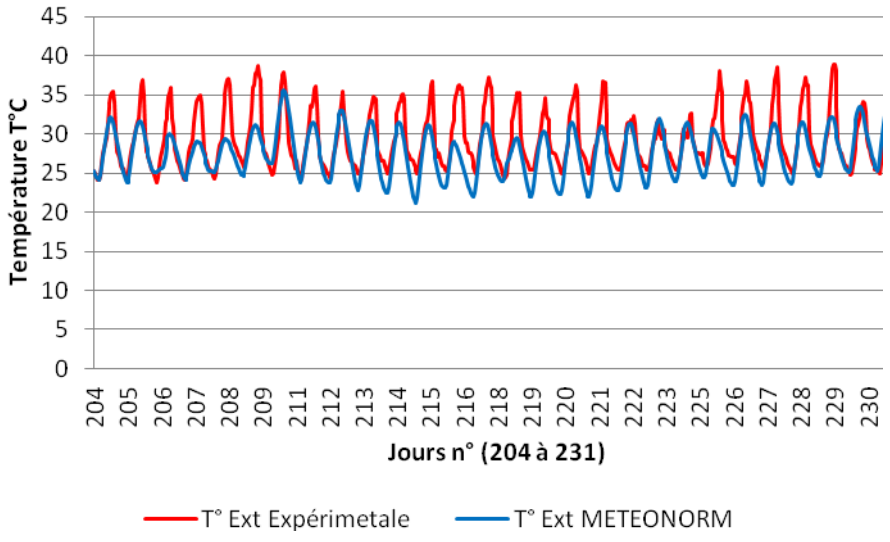
5.3. Application de l'outil de modélisation Comfie-Pleiades

Pour effectuer cette analyse sur le logiciel Pleiades+Comfie, nous avons modélisé toutes les informations récoltées lors de notre démarche selon les étapes suivantes :

Avant de saisir les données, nous commençons par créer les bibliothèques spécifiques de données de notre appartement :

- les matériaux et compositions : pour les parois extérieures, intérieures, les cloisons, le refend, le plancher, les revêtements extérieur et intérieur, les menuiseries et leurs compositions de vitrages et de cadres, les ponts thermiques[106] ;
- les 5 scénarios adoptés dans la partie précédente : consigne de température, taux d'occupation, taux de ventilation, puissance dissipée des appareils électriques, niveau d'éclairement et besoins en l'eau chaude sanitaire ;
- les systèmes de climatisation et chauffe-eau pour l'ECS : nous avons modélisé un appareil de climatisation (split) avec des caractéristiques identiques à celui installé dans l'appartement (COP= 2,7, puissance maximum : 3 571 W) ; pour l'ECS, nous avons modélisé une résistance électrique identique à l'existant ;
- les données météo : Comme nous ne disposons pas des données stables d'une station de météo régionale, nous avons pris les données météo par l'agence METENORM, puis nous avons mis en place un instrumentation (LascaElectronic, voir figure 5.4) dans le balcon du bâtiment de référence pour mesurer la température extérieure afin de comparer les températures extérieures réelles et celles de METEONORM. Cette comparaison est illustré dans la Figure (5.26) :

Figure 5.26 : Comparaison entre les températures extérieurs réels et celui de METEONORM



La comparaison entre les deux données, montre des écarts acceptables et nous utiliserons par facilité de calcul pour le STD les données METEONORM. Nous pouvons justifier cette approche par le fait que le climat dans la région Est-Méditerranée est stable et réguliè.

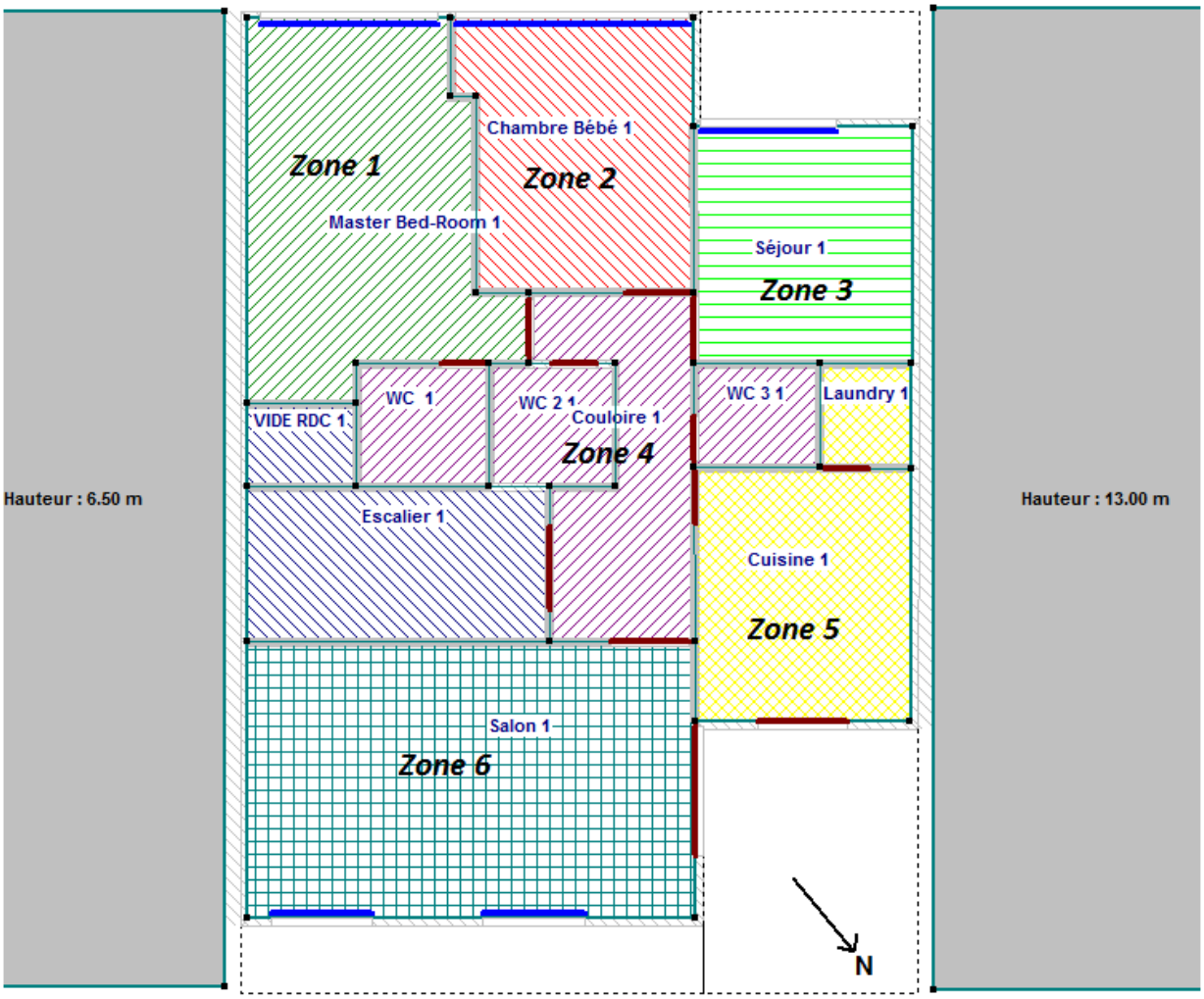
[106] Nous considérons qu'aucun pont thermique n'est traité comme l'état réel de l'appartement.

- grâce à l'outil Meteocalc dans le logiciel Comfie+Plieades, nous pouvons intégrer les données météorologiques de notre site de Beyrouth, que nous avons obtenues auprès de l'agence Meteonorm pour notre étude, au format [tyr].

Pour rassembler ces données dans l'environnement de l'appartement, nous les avons saisies dans la partie graphique (Alcyone), où nous pouvons modéliser la géométrie de l'appartement (orientation, dimensions, matériaux de construction et leurs propriétés physiques et thermiques, ponts thermiques non traités, etc.) avec l'environnement autour (les rues en face, les bâtiments adjacents et du voisinage, ainsi que leurs hauteurs et position, les arbres proches, etc.).

Du fait des différents comportements thermiques existant entre les chambres (appareils de climatisation, lieu de sommeil, lieu de vie en journée, etc.), nous avons divisé l'appartement en 6 zones thermiques – cette division est montrée dans la figure 5.27.

Figure 5.27 : Vue en plan de l'appartement de référence avec les différentes zones thermiques



Comfie-Pleiades donne la possibilité de voir l'appartement en vue 3D avec l'environnement autour, notamment sa position avec les immeubles adjacents et ceux qui lui font face. Nous montrons, dans les figures 5.28, 5.29 et 5.30, des vues en 3D de notre immeuble dans son quartier.

Figure 5.28 : Vue 3D de l'immeuble dans son quartier (façade nord)

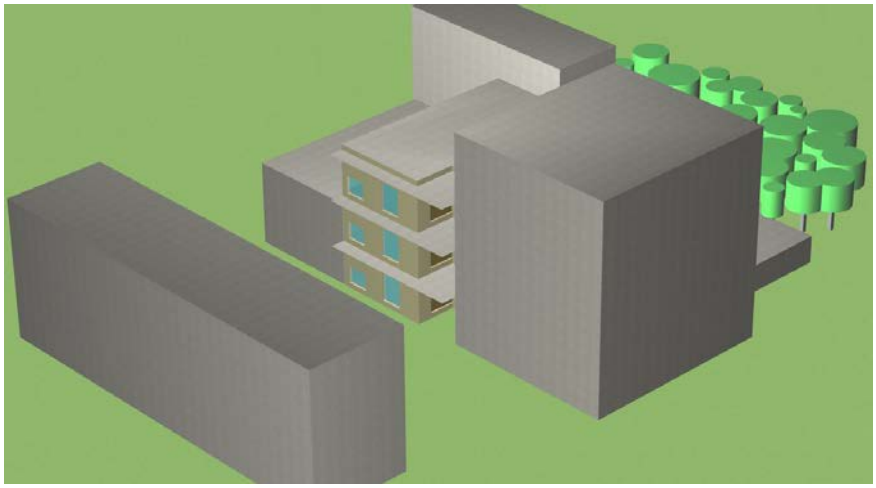


Figure 5.29 : Vue 3D de l'immeuble dans son quartier (façade sud)

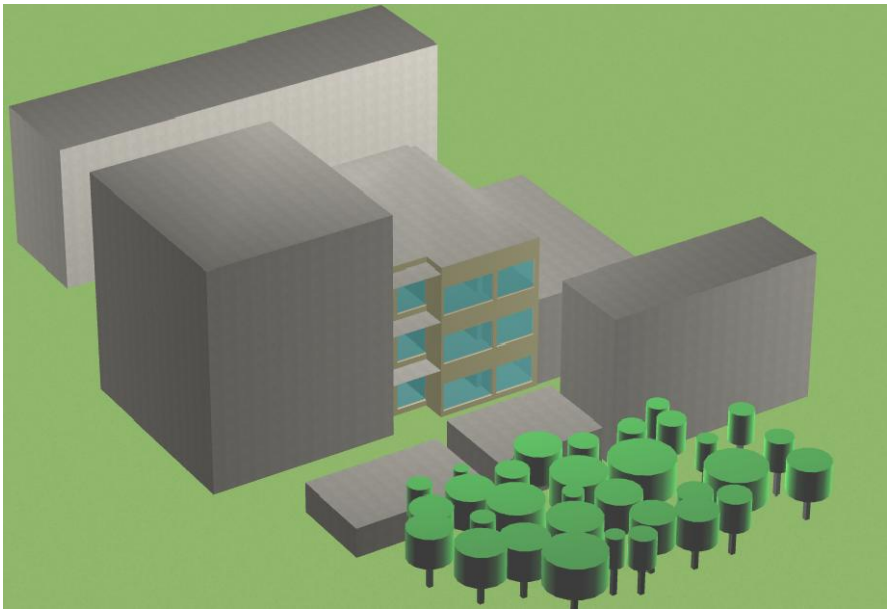
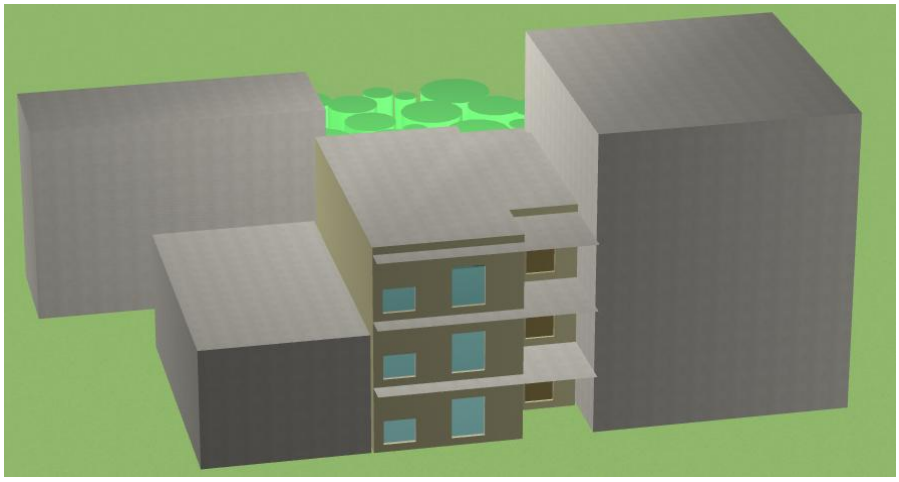


Figure 5.30 : Façade nord en vue 3D de l'immeuble de référence



Les saisies des données sont détaillées dans l'annexe 3.

5.4. Résultats de la simulation thermique dynamique

Après avoir saisi toutes les données de notre appartement, nous avons effectué une simulation thermique dynamique sur une période d'une semaine (du 30 juillet au 5 août). Deux types de résultats étaient recherchés : le premier concerne les courbes de température intérieure dans les zones 1, 5 et 6 (la chambre *Master bedroom*, la cuisine et le salon), qui sont les pièces où nous avons effectué notre mesure expérimentale afin de réaliser notre comparaison ; le deuxième, les consommations électriques de l'appareil de climatisation et pour l'ECS.

5.4.1. Analyse des températures

Comparons à présent les résultats des températures entre la simulation thermique dynamique et les mesures expérimentales.

5.4.1.1. Le *Master bedroom*

Nous rappelons la présence d'un unité de climatisation (split) en fonction quasi permanent selon la présence des occupants. Les figures 5.31 et 5.32 montrent les variations des températures dans cette pièce entre mesures expérimentales et STD dans un période d'une semaine, et dans la journée type.

Figure 5.31 : Courbes des températures (mesures expérimentales et STD) dans le *Master bedroom* (période du 30 juillet au 5 août 2013)

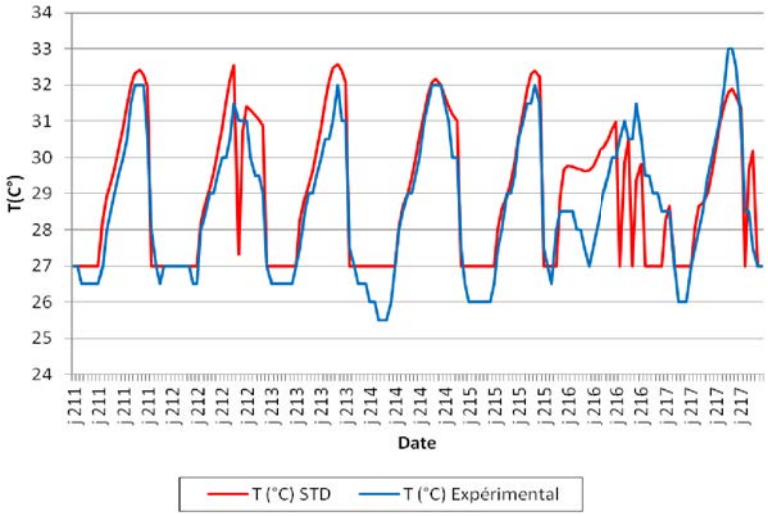
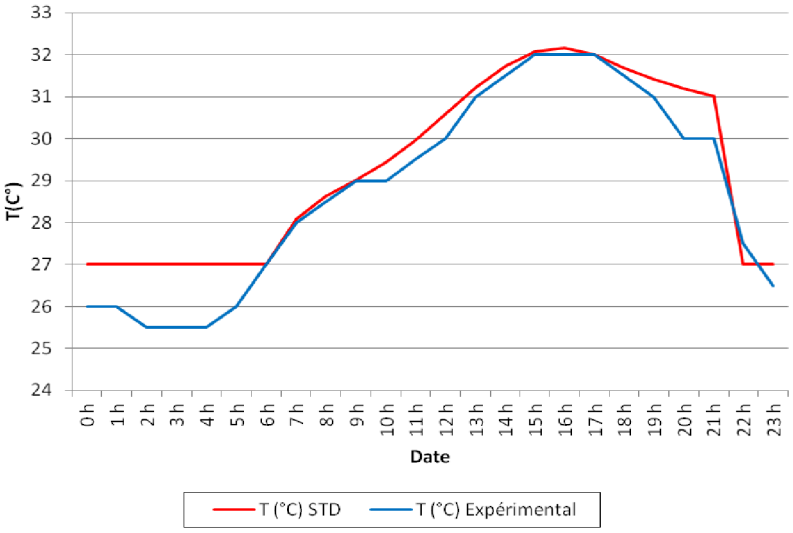


Figure 5.32 : Courbes des températures (mesures expérimentales et STD) dans le *Master bedroom* (jour n° 214)



L'observation de ces courbes montre une évolution des températures très proches, avec des valeurs maximum un peu plus élevées pour la courbe du STD. Nous pouvons expliquer ces différences par plusieurs raisons, liées au comportement des occupants. Pour la différence en valeur minimum, pour laquelle nous trouvons que la température des mesures expérimentales est plus basse que celle du STD, cela traduit le fait que la température souhaitée par les occupants est plus basse que la température de consigne fixée dans notre scénario de température.

5.4.1.2. Le salon

Malgré la présence d'un unité de climatisation (split) dans cette pièce, son utilisation est totalement absente dans la période de mesure. Les figures 5.33 et 5.34 montrent les variations des températures dans cette pièce entre mesures expérimentales et STD dans un période d'une semaine, et dans la journée type.

Figure 5.33 : Courbes des températures (mesures expérimentales et STD) dans le salon (période du 30 juillet au 5 août 2013)

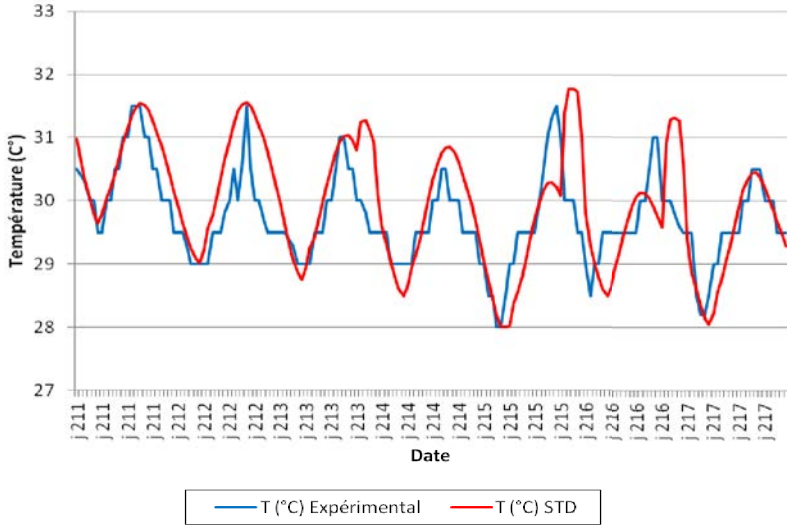
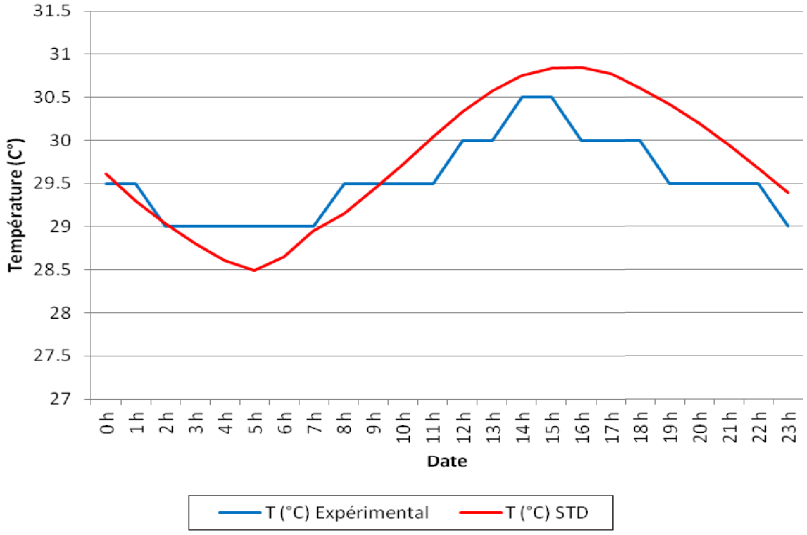


Figure 5.34 : Courbes des températures (mesures expérimentales et STD) dans le salon (jour n° 214)



La figure 5.34 montre deux courbes de température quasi identiques. Ces résultats sont normaux du fait de l'absence d'appareils de climatisation ou d'autres apports de chaleur interne (présence humaine marginale, et puissance dissipée des appareils électriques très faible).

5.4.1.3. La cuisine

La puissance dissipée des appareils électrique présente des valeurs importantes et présentent un facteur principal dans la variation de la température intérieur de cette pièce. Les figures 5.35 et 5.36 montrent les variations des températures dans cette pièce entre mesures expérimentales et STD dans un période d'une semaine, et dans la journée type.

Figure 5.35 : Courbes des températures (mesures expérimentales et STD) dans la cuisine (période du 30 juillet au 5 août 2013)

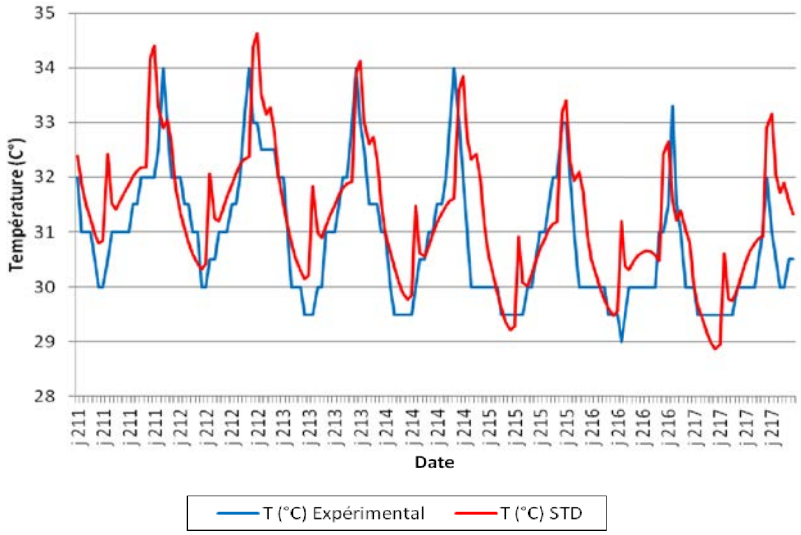
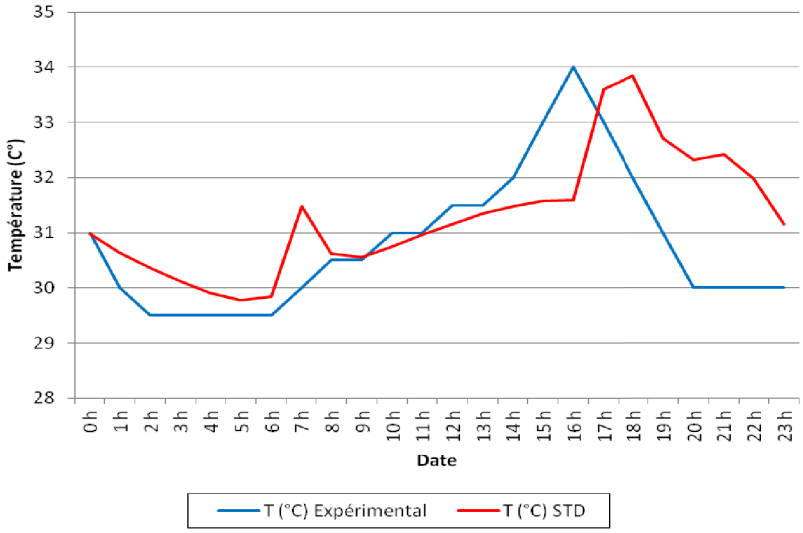


Figure 5.36 : Courbes des températures (mesures expérimentales et STD) dans la cuisine (jour n° 214)



Nous observons, dans la figure 5.36, que les évolutions des deux courbes sont proches. Les différences entre les deux valeurs pour la même heure n'excèdent pas 1 °C. Ces différences ont pour origine les puissances dissipées des appareils électriques dans la cuisine, de valeurs importantes.

Après avoir effectué la comparaison entre les courbes des températures dans les trois zones thermiques, nous allons chercher les résultats concernant la consommation électrique.

5.4.2. Analyse de la consommation énergétique

5.4.2.1. Le *Master bedroom*

La valeur de la consommation énergétique mesurée par l'appareil multivoie dans le *Master bedroom* montre une valeur de 40,806 kWh pour la semaine du 30 juillet au 5 août. Cette valeur représente la consommation électrique de tous les appareils qui consomment de l'électricité (climatisation, lampes, chargeur portable). Nous avons analysé les modes de consommation de chaque appareil ainsi que leur valeur (tableau de résultats multivoie), et nous pouvons remarquer que la consommation est de 2,734 kWh pour les lampes et chargeur portable, et de 38,072 kWh pour l'appareil de climatisation.

L'analyse thermique dynamique sur le logiciel Pleiades+Comfie donne une consommation énergétique de l'appareil de climatisation, dans la chambre *Master bedroom*, de 33,575 kWh en une semaine, avec une performance de COP=2,7.

Les résultats, concernant la consommation énergétique, mesures expérimentales et analyse STD durant une semaine (entre le jour n° 211 et le jour n° 217) sont présentés dans la figure 5.37.

Figure 5.37 : Comparaison des consommations énergétiques pour la climatisation entre la mesure expérimentale et le STD (période du 30 juillet au 5 août 2013)

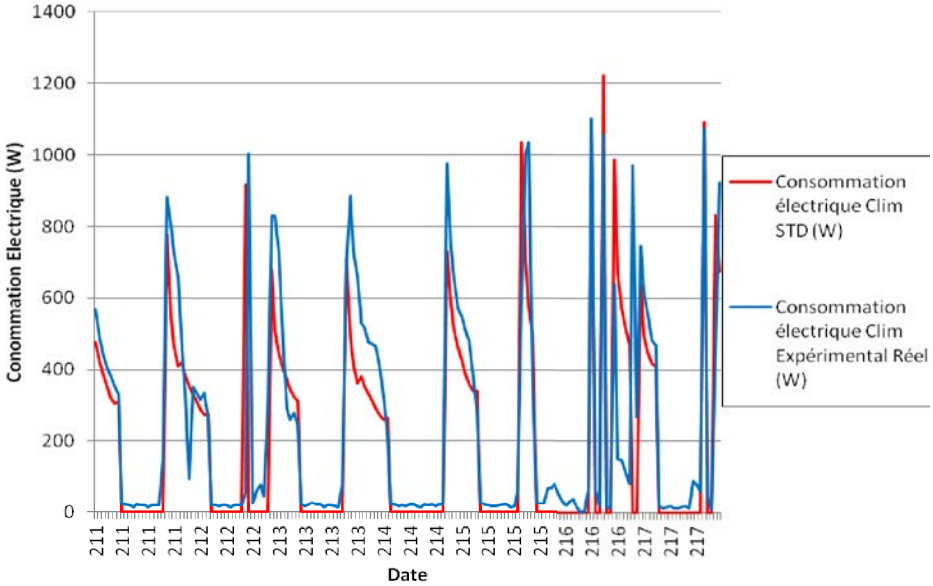
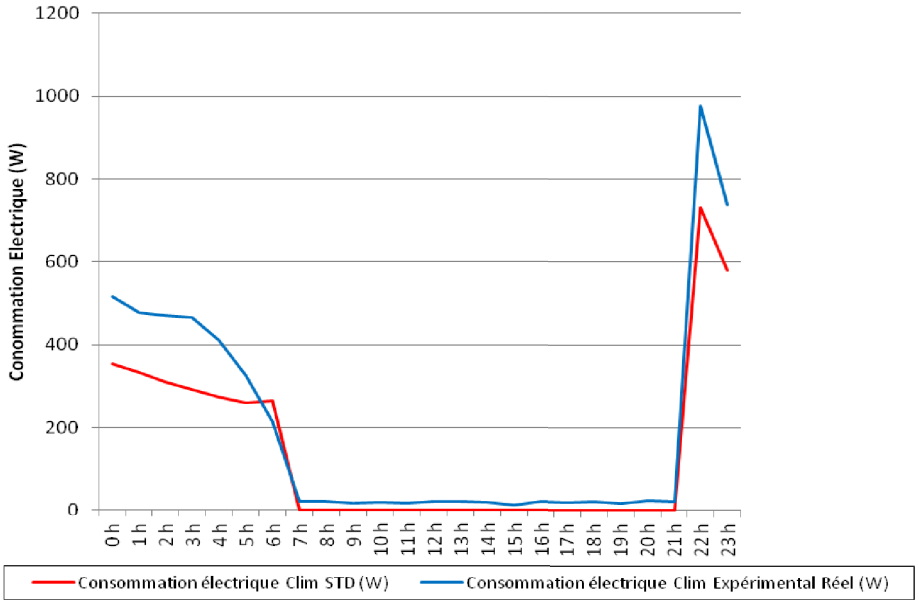


Figure 5.38 : Comparaison des consommations énergétiques pour la climatisation entre la mesure expérimentale et le STD (jour n° 214)



L'observation des courbes des résultats, dans la figure 5.38, montre que la consommation énergétique mesurée pour refroidir cette pièce est proche du résultat calculé par la simulation thermique dynamique. La consommation électrique réelle de la climatisation pour la semaine de mesure est de l'ordre de 38 072 W, tandis que le résultat du calcul STD est de 33 575 W. La différence est donc de 12 %, et nous trouvons celle-ci acceptable pour des raisons diverses : d'une part, du fait de comportements humains non prévus et donc non considérés dans le calcul (comme l'ouverture occasionnelle des fenêtres, la création d'un courant de vent, le changement de la température de consigne par l'occupant, etc.), et, d'autre part, parce que la situation de l'électricité au Liban n'est pas stable et que les sources peuvent passer de l'électricité du réseau public à un groupe électrogène individuel ou collectif.

5.4.2.2. Consommation énergétique pour l'eau chaude sanitaire

Il est difficile de connaître les valeurs exactes du volume et de la température de l'eau utilisée en une semaine. Pour récolter cette information, des questionnaires ont été proposés aux occupants pour connaître le volume d'eau chaude utilisé par jour et par semaine, et la température d'utilisation de l'eau chaude. Après une comparaison entre les réponses des occupants et les valeurs officielles moyennes d'utilisation de l'eau chaude dans la région, nous avons trouvé des valeurs proches (350 l à 60 °C/adulte/semaine en moyenne).

Dans l'appartement, il se trouve un ballon d'eau chaude sanitaire de 100 l équipé de deux résistances électriques de 1 200 W chacune.

Les résultats des mesures expérimentales et celui du calcul STD pour la consommation énergétique en eau chaude sanitaire sont présentés dans la figure 5.39.

Figure 5.39 : Comparaison des consommations énergétiques pour l'ECS entre la mesure expérimentale et STD (période du 30 juillet au 5 août 2013)

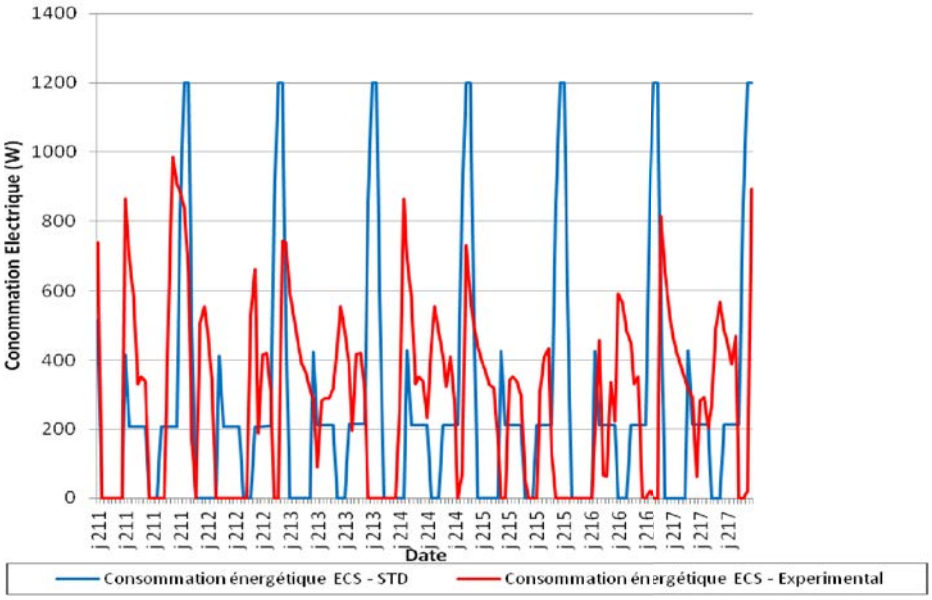
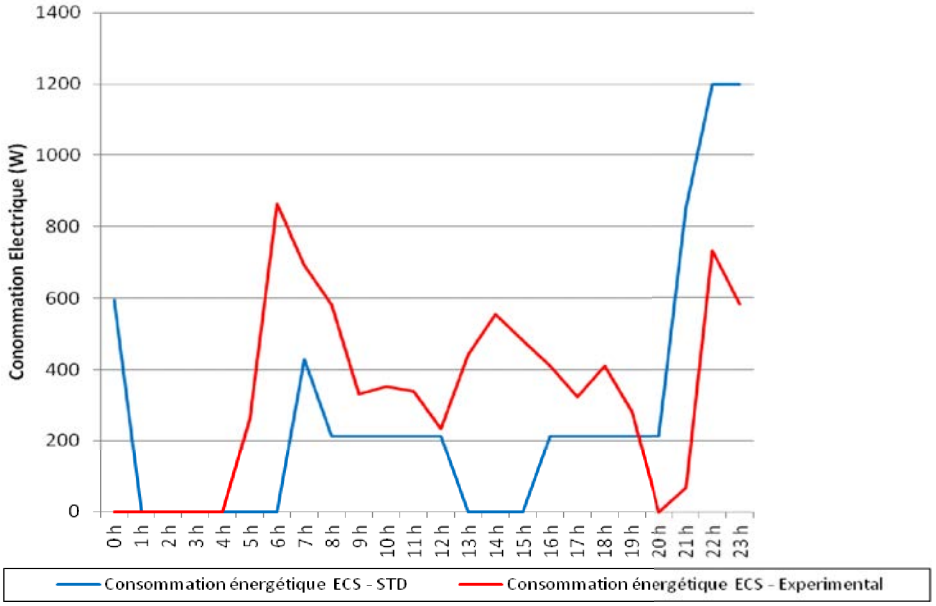


Figure 5.40 : Comparaison des consommations énergétiques pour l'ECS entre la mesure expérimentale et STD (jour n° 214)



La consommation énergétique réelle mesurée durant cette semaine est de 48,516 kWh, et le résultat de STD pour la même période, pour une consommation d'eau chaude de 50 l/personne/jour (rappelons que nous avons deux adultes et un bébé) est de 44,420 kWh.

La différence entre la mesure expérimentale et le STD, pour ce qui concerne la consommation énergétique pour l'ECS pendant une semaine, est de 9 %. Malgré les différents comportements des deux courbes présentées dans la figure 5.39 (du fait de la difficulté de connaître la durée et le volume exact de chaque consommation d'ECS en réalité), nous trouvons que la différence en consommation totale est acceptable pour notre étude.

6. Validation de notre méthodologie

La validation est définie comme étant une procédure permettant de s'assurer de l'exactitude théorique et physique des méthodes de calcul et des procédures mathématiques et numériques de résolution[107].

La démarche classique de validation nécessite de comparer les résultats du modèle avec des résultats expérimentaux et d'évaluer l'incertitude des résultats et des mesures[108].

Notre méthode de validation est classique, basée sur la comparaison entre les résultats d'une simulation thermique dynamique et ceux issus de l'expérimentation, et l'évaluation des écarts entre eux.

Ces différences entre les deux résultats sont classées en deux types : le premier, dit « externe », vient des paramètres d'entrée, et le deuxième, dit « interne », vient du fait qu'un modèle est toujours une approximation de la réalité.

Pour effectuer une simulation thermique dynamique sur un cas d'étude, plusieurs paramètres externes sont à préciser (géométrie du bâtiment, système de construction, matériaux de construction et leurs caractéristiques thermiques, comportement des occupants, descriptif des équipements, conditions climatiques, etc.). Ces paramètres sont connus grâce aux démarches suivies dans notre recherche (visites sur site, recherche des types de matériaux de construction, questionnaires auprès des occupants, mesures et suivi sur place, données climatiques, etc.). La précision des données d'entrée a donc un grand effet sur la précision des résultats.

Après ces comparaisons de deux types (température et consommation énergétique) entre mesures réelles et simulation dynamique, nous avons identifié, pour chaque cas, les causes des différences entre les résultats, et considéré que ces différences étaient acceptables. D'après ce résultat d'analyse, nous pouvons adopter comme une base de calcul pour notre étude la méthode et les conceptions de base (systèmes de construction, scénarios, etc.) de la simulation thermique dynamique sur le logiciel Comfie-Pleiades.

---

[107] P. Aude, *Contribution à l'amélioration des protocoles de validation des modèles numériques de simulation du comportement thermo-aéraulique des bâtiments*, thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 1997, 276 p.

[108] J.-M. Furbringer, *Sensibilité de modèles et de mesures en aéraulique du bâtiment à l'aide de plan d'expérience*, thèse de doctorat, École polytechnique supérieure fédérale de Lausanne, Lausanne, 1994, 183 p.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé la méthodologie de notre étude, qui est constituée de plusieurs étapes. D'abord, une classification des bâtiments résidentiels selon leurs caractéristiques a été réalisée, avec pour but de choisir et identifier un bâtiment de référence – ce fut l'objectif de notre première phase d'étude. Dans la deuxième étape, nous avons présenté la méthodologie de notre travail d'acquisition de données : nous avons commencé par des visites simples, puis nous avons sélectionné les appareils de mesure afin de les installer dans l'appartement de référence. Une description métrologique détaillée de notre appartement de référence a été le sujet de la troisième étape, avec pour but de construire une base de données utile afin d'établir un modèle complet de notre appartement de référence. Cette base contient plusieurs informations : les matériaux et les systèmes de construction avec leurs caractéristiques thermophysiques, les systèmes et les appareils électriques avec les différents scénarios des habitants et leur comportement. Dans la quatrième étape, nous avons présenté les résultats des mesures, premièrement de confort, en analysant ces niveaux dans trois pièces choisies, puis de consommation énergétique, pour six postes principaux dans l'appartement. La cinquième étape a eu pour objectif de présenter la méthode de simulation thermique dynamique. Nous avons décrit ses principes et algorithmes de calcul en montrant les raisons qu'il y avait à adopter cette logique. Par la suite, nous avons choisi un outil informatique (Comfie-Pleiades) pour effectuer le calcul. Les résultats des calculs STD, en matière de variations de température dans plusieurs zones thermiques de notre appartement de référence et de consommations énergétiques dans deux postes (climatisation et ECS), ont été comparés avec les résultats des mesures expérimentales. Ceci avait pour objectif de valider notre travail en adoptant la simulation thermique dynamique comme une méthode de calcul de notre procédé énergétique.

Grâce à cet outil STD, nous allons pouvoir développer des critères pertinents de performance énergétique pour les bâtiments résidentiels neufs dans la région Est-Méditerranée.

Ainsi, dans le chapitre 6, nous allons identifier un label énergétique à partir de STD et en nous appuyant sur la règlementation française RT2012, tout en respectant en même temps les spécificités de la région Est-Méditerranée, soumises à des caractéristiques diverses et aux conditions d'usage et de conception.

Chapitre 6. Mise en œuvre d'une méthodologie pour évaluer les critères d'un nouveau label énergétique pour la zone Est-Méditerranée

.

L'objectif du chapitre 6 est de proposer un label d'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels qui prenne en compte les spécificités des bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée.

La question posée est la suivante : Comment allons-nous le construire ? Pour répondre à cette question, nous avons choisi de prendre pour référence la réglementation française RT2012 qui, selon les résultats des analyses réalisées dans le chapitre 4, présentent de nombreuses qualités notamment une réelle capacité à être adaptée à des usages, des environnements climatiques et architecturaux différents. pour autant, des ajustements de cette démarche réglementaire sont nécessaires pour prendre les spécificités de la région.

Ce chapitre est construit en une séquence de plusieurs sous-chapitres que nous détaillons comme suit :

- Dans un premier temps, nous présentons les spécificités de la ville de Tartous en termes météorologiques et d'usages conventionnels dans les bâtiments résidentiels. Nous rappelons que le type de bâtiment retenu ainsi que les conditions climatiques de la ville sont représentatifs de toutes les régions littorales de la région Est-Méditerranée qui concentre une très grande part de la population de la région.
- Ensuite nous avons mené une analyse critique de la réglementation RT2012 en vue de son extension à la région Est-Méditerranée. À l'issue de cette analyse, on conservera certains éléments de la RT2012, notamment certains critères de performance, mais on sera également amené à éliminer certains points de cette réglementation, inadaptés au contexte de la région EM.
- Nous avons validé, dans le chapitre 5, un outil de simulation thermique dynamique Comfie-Pleiades, à partir de l'expérimentation d'un bâtiment de référence. Cet outil sera le moyen – à partir de la simulation du bâtiment de référence - d'évaluer les indices de performance énergétique retenus lors de l'analyse critique précédente. Un intérêt plus particulier sera porté au confort d'été, qui nécessitera l'introduction d'un nouvel indice de confort.
- L'amélioration de l'efficacité énergétique d'un bâtiment nécessite de réaliser, durant la phase de conception du projet, des études paramétriques en vue de mettre en évidence les solutions techniques adaptées en terme de performances énergétiques et de confort thermique. Durant cette phase, nous proposons et évaluons des solutions techniques spécifiques à l'enveloppe et aux systèmes énergétiques. Nous allons notamment analyser les réponses apportées par les différents couplages de ces solutions techniques.
- En dernier lieu, une évaluation globale, en termes économique et énergétique, des solutions techniques proposées sera réalisée sous la forme d'une étude multicritère, afin de déterminer les valeurs limites de chaque indice de performance retenu.

A la suite de cette étude nous pourrons préconiser un label énergétique basé sur des indices pertinents dont nous aurons choisi les valeurs limites en cohérence avec les solutions techniques acceptables, avec les contraintes économiques et les savoir faire locaux propres à la région étudiée.

1. Présentation des spécificités des bâtiments résidentiels dans la ville de Tartous

Il est logique de commencer par identifier tous les paramètres spécifiques aux bâtiment nécessaires à l'usage de la STD . Nous allons commencer par effectuer une présentation des spécificités du site, puis nous présenterons les bâtiments résidentiels dans la ville.

Rappelons que l'enveloppe et la géométrie de notre appartement de référence sont bien détaillées dans le chapitre précédent (cf.§.chapitre 5.2 et 4).

En ce qui concerne les données climatiques, nous utilisons les données climatiques de Tartous, reçues de l'agence Meteonorm. Pour les données d'occupation et d'usage, nous établissons des scénarios cohérents avec notre site à partir des statistiques nationales et des enquêtes réalisées sur le terrain.

Le bâtiment de référence choisi dans le cadre de cette recherche tant en termes d'architecture et d'usage ainsi que les conditions climatiques de la ville Tartous sont représentatives d'une grande part des logements résidentiels des régions littorales de la zone Est-méditerranée. En ce sens, l'étude vise à développer un label couvrant la grande majorité du parc résidentiel de la région.

1.1. Les données climatiques

Nous avons obtenu les données climatiques du site (Tartous) auprès de l'agence Meteonorm sous deux formats, PDF et try. La constitution de ces données a été effectuée sur la base de fichiers annuels sur la période de 2000 à 2009 pour la température, et de 1986 à 2005 pour les valeurs du rayonnement solaire (direct et diffus).

Les données climatiques contiennent toutes les variables nécessaires sur un pas de temps horaire pour effectuer les calculs de simulation thermique dynamique :

- La température et l'humidité relative ambiante
- Les rayonnements solaires : permettent de calculer les apports de chaleur pour le bâti, ainsi que l'efficacité des capteurs solaires thermiques ou photovoltaïques. De façon à permettre les calculs pour toute orientation et inclinaison et pour la prise en compte des effets de masque, les données sont fournies sous la forme d'une composante directe et d'une composante diffuse.
- Le rayonnement lumineux : utilisé pour calculer l'éclairement naturel dans les locaux, il est décrit sous la même forme que le rayonnement solaire et à partir de celui-ci.
- Le rayonnement froid vers la voûte céleste.
- La vitesse du vent.
- La température de l'eau froide du réseau.

L'altitude du site météorologique est de 5 m, ce qui est quasiment nul, et la température du sol à 1 m de profondeur sera considérée comme la température d'entrée de l'eau froide du réseau.

La figure 6.1 montre la première page des données météo de Tartous, et les détails de cette fiche dans l'annexe 4 :

Tableau 6.1 : Données météo de Tartous

Tartous
Location name

34.883
Latitude [°N]

35.883
Longitude [°E]

400500
WMO

5
Altitude [m a.s.l.]

IV, 1
Climate region

Standard
Radiation model

Standard
Temperature model

Perez
Tilt radiation model

2000–2009
Temperature period

1986–2005
Radiation period

Additional information

Uncertainty of yearly values: Gh = 4%, Bn = 7%, Ta = 0.3 °C
Trend of Gh / decade: -
Variability of Gh / year: 4.0%
Radiation interpolation locations: Satellite data
Temperature interpolation locations: Tripoli (49 km), BASEL ASSAD INTL AR (58 km), Latakia (73 km), SAFITA (24 km), Hama (61 km), Bayrouth (124 km)

Month	Ta	H_Gh	H_Dh	H_Bn	Sd	Rh	FF
	[C]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[h]	[%]	[m/s]
January	11.8	71	35	83	137	67.9	2.7
February	12.7	87	44	86	150	68.5	3.0
March	15.1	141	63	131	202	68.1	2.9
April	17.7	157	76	123	230	69.5	3.0
May	20.8	208	81	183	303	71.0	2.7
June	24.4	220	80	197	329	71.4	2.7
July	26.9	216	79	194	336	72.9	2.9
August	27.6	199	69	191	323	72.2	2.8
September	25.9	165	62	160	292	66.5	2.6
October	22.7	132	51	149	250	64.6	2.2
November	17.4	93	33	130	193	63.7	2.4
December	13.3	73	33	100	151	67.7	2.6
Year	19.7	1757	703	1727	2896	68.7	2.7

H_Gh: Irradiation of global radiation horizontal
H_Dh: Irradiation of diffuse radiation horizontal
H_Bn: Irradiation of beam
Ta: Air temperature
FF: Wind speed
Rh: Air temperature
SD: Sunshine duration

meteonorm

meteonorm V7.0.20.27327 1/3

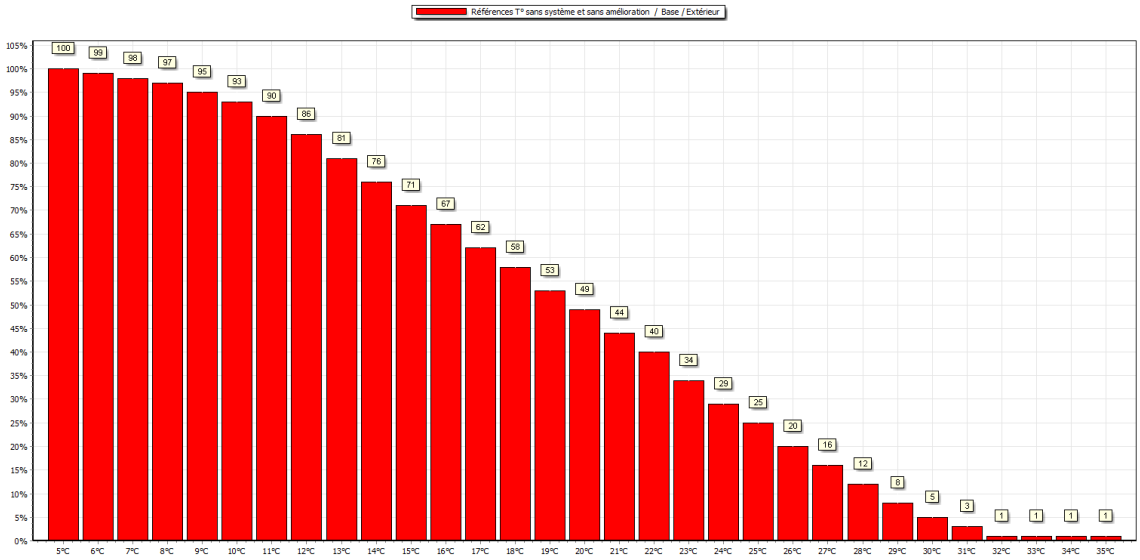
Les données métrologiques montrent un climat chaud et humide pendant la saison estivale, avec une température maximum des moyennes à 27,6 °C, et une humidité relative à 72,2 %. La saison hivernale est froide, avec une température minimum des moyennes de 11,8 °C. L'irradiation solaire est de 1 757 kWh/m^2/an, et la durée d'ensoleillement est de 2 895 h/an. Une analyse approfondie de ces données météorologiques est nécessaire pour apprécier les différences majeures avec le climat français en zone méditerranéenne (H3).

1.1.1. Analyse des données météorologiques

Les besoins en rafraîchissement en période estivale sont liés principalement aux apports solaires et aux gains internes, tandis que les besoins en chauffage sont liés aux écarts de température entre l'intérieur et l'extérieur en période hivernale. Il nous semble important d'analyser les paramètres météorologiques, qui ont une influence directe sur les besoins énergétiques.

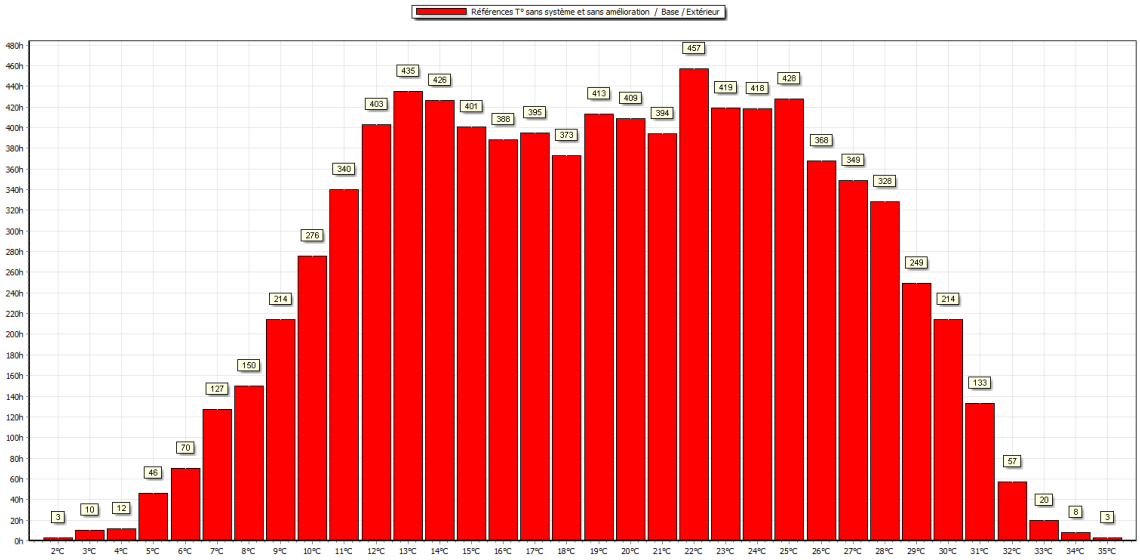
Les données météorologiques du site montrent que la température maximale peut atteindre 35,6 °C (même pour une heure dans l'année), avec une température minimale qui peut être de 2,5 °C, mais, en général, la température minimale est rarement inférieure à 5 °C. La figure 6.1 montre la répartition cumulée des températures en pourcentage de temps.

Figure 6.1 : Répartition cumulée des températures en pourcentage de temps (Tartous)[109]



La figure 6.2 montre l'histogramme qui présente la répartition des températures sur la période en nombre d'heures :

Figure 6.2 : Répartition des températures sur la période en nombre d'heures (Tartous)



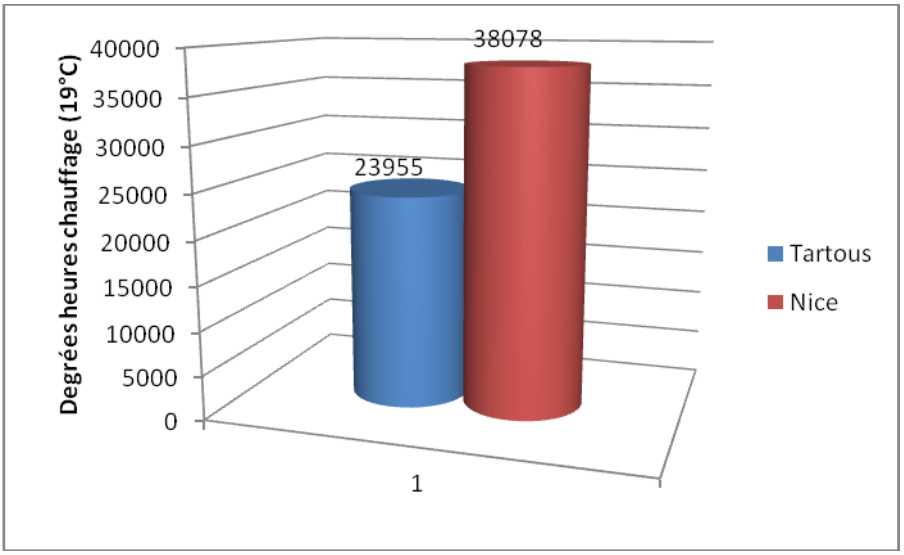
À partir de cette figure, nous pouvons calculer les valeurs des degrés-heures[110] du chauffage pour les températures extérieures inférieures à 19 °C, et les valeurs des degrés-heures du rafraîchissement pour les températures extérieures supérieures à 26 °C. Nous

[109] Analyse des données météorologiques sur le logiciel Comfie-Pleiades.

[110] Lorsque l'écart de température entre le bâtiment et l'extérieur est de 1 [°C] pendant une heure, le « besoin de chauffage » est de 1 [Dh].

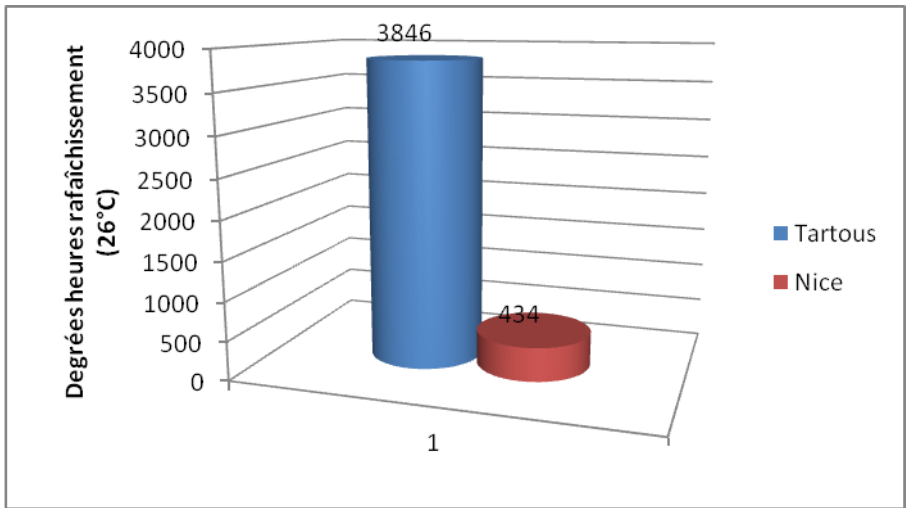
indiquons, en guise de comparaison, les valeurs des degrés-heures de la zone H3-Nice (voir figures 6.3 et 6.4).

Figure 6.3 : Comparaison du nombre de degrés-heures de chauffage (Tartous et H3 Nice)



La figure 6.3 montre que la différence en degrés-heures entre les climats de Tartous et de Nice est de 14 123 Dh, ce qui signifie un besoin en chauffage plus important à Nice que pour le site de Tartous.

Figure 6.4 : Nombre de degrés-heures de rafraîchissement (Tartous et H3 Nice)

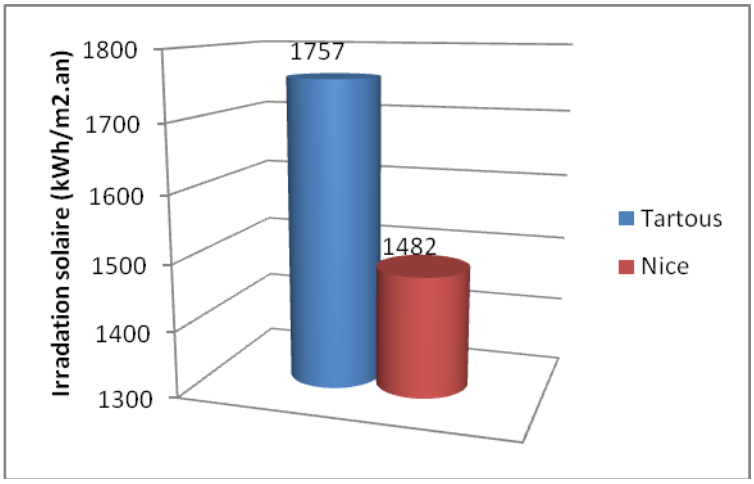


La figure 6.4 montre que le besoin en rafraîchissement de notre site est neuf fois supérieur à celui de Nice, ce qui implique donc un besoin en climatisation beaucoup plus important pour le site de Tartous.

Rappelons que le nombre d'heures présentant une température entre 19 et 26 °C correspond à la période de confort sans chauffage ni climatisation est pour le site (Tartous) de 3 320 h, et à Nice de 3 770 h.

Si la température extérieure représente un indicateur important pour le besoin en chauffage et en rafraîchissement, l'irradiation solaire joue également un rôle très important pour évaluer la température intérieure. La figure 6.5 montre les valeurs de l'irradiation solaire globale sur un plan horizontal (kWh/m^2.an) pour Tartous et H3-Nice.

Figure 6.5 : Irradiations solaires globales sur un plan horizontal (Tartous et H3-Nice)



Nous notons que la ville de Tartous présente un niveau d'irradiation solaire beaucoup plus important que celui de Nice, ce qui traduit un besoin en rafraîchissement plus important pour la ville de Tartous.

Nous sommes dans un environnement climatique très différent des régions françaises, même des plus méditerranéennes, ce qui laisse augurer de la nécessité de modifier certaines règles ainsi que la modalité de calcul du la réglementation thermique appliquée en France.

1.2. Les scénarios d'usage conventionnels

Nous savons que les scénarios d'usage conditionnent les consommations énergétiques des bâtiments. Ils sont choisis de façon conventionnelle dans la RT2012 et sont supposés représenter un scénario d'occupation moyen du parc immobilier.

Ces données sont décrites sous la forme de scénarios temporels horaires représentant les usages et compartiments moyens des occupants d'un bâtiment. L'unité de base est la semaine, avec des modifications liées aux périodes de vacances.

Dans notre étude, afin d'approcher la réalité de la ville de Tartous, nous allons chercher des scénarios conventionnels réalistes concernant l'appartement de référence, avec pour but d'établir un modèle complet pour la simulation thermique dynamique. Six paramètres d'usage seront ainsi décrits par des scénarios qui différeront selon les saisons, les horaires et le climat.

1.2.1. Consigne de température

Il s'agit de la température de chauffage ou de climatisation souhaitée par les habitants pour leur confort. Nous allons utiliser les résultats de notre questionnaire proposé aux ménages en matière de confort d'hiver et d'été (cf.§.chapitre 3). La température souhaitée en été est inférieure à 27 °C, et, en hiver, supérieure à 19 °C. Ces températures de confort sont liées à l'endroit d'occupation, aussi allons-nous diviser l'appartement en deux parties en fonction de son usage (de jour ou de nuit). La présence des occupants dans une pièce implique donc que celle-ci soit à la température de confort.

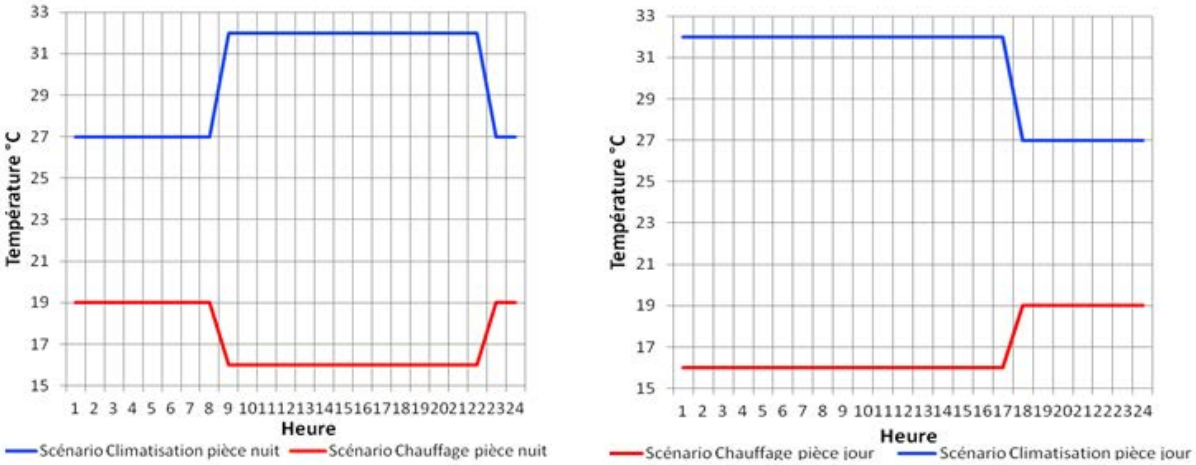
Pour effectuer le calcul de STD pour une année complète, deux scénarios de consigne de température sont à mettre en place : un scénario hebdomadaire et un autre annuel.

1.2.1.1. Scénario hebdomadaire

En ce qui concerne le scénario hebdomadaire, nous montrons, dans la figure 6.6, les consignes de température durant une même journée en hiver (en rouge) et en été (en bleu)

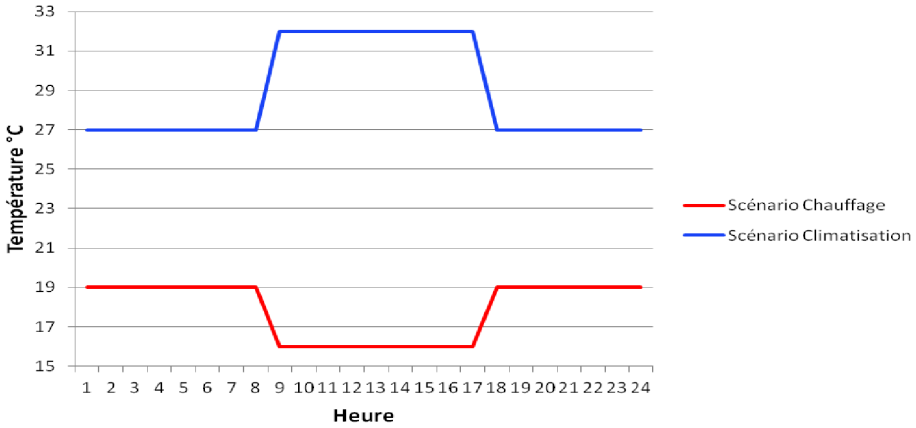
pour les deux zones définies dans l'appartement (pièce de nuit : chambre ; pièce de jour : séjour). Rappelons que les températures de consigne, en week-end, sont stables toute la journée (voir les résultats de l'enquête 1b).

Figure 6.6 : Températures de consigne dans les logements collectifs en mode chauffage et climatisation dans les parties nuit et jour (période : une journée)



Afin de simplifier le processus de modélisation, nous avons choisi les scénarios les plus exigeants pour tout l'appartement sans différencier les pièces (jour/nuit). Dans la figure 6.7, nous présentons deux scénarios hebdomadaires, l'un pour un jour d'hiver (en rouge), pendant lequel l'appartement est donc chauffé de 18 heures jusqu'à 8 heures du matin, et l'autre pour un jour d'été (en bleu), pendant lequel l'appartement est climatisé de 18 heures jusqu'à 8 heures du matin.

Figure 6.7 : Températures de consigne dans les logements collectifs en mode chauffage et climatisation

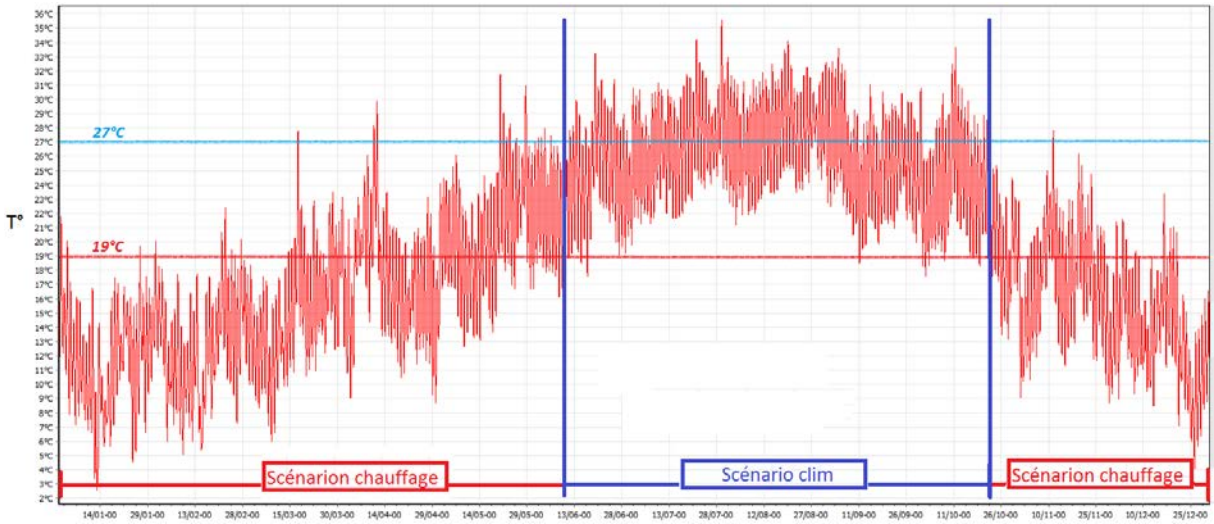


1.2.1.2. Scénario annuel

Les deux scénarios des consignes de température en été et en hiver sont répartis dans l'année selon la période de l'année et selon la météo. Ainsi, nous déterminons un scénario annuel de consigne de température.

L'observation de la courbe de température extérieure illustrée dans la figure 6.8 montre la nécessité d'appliquer un scénario de climatisation entre les semaines 23 à 42, et un scénario de chauffage entre les semaines 43 à 22.

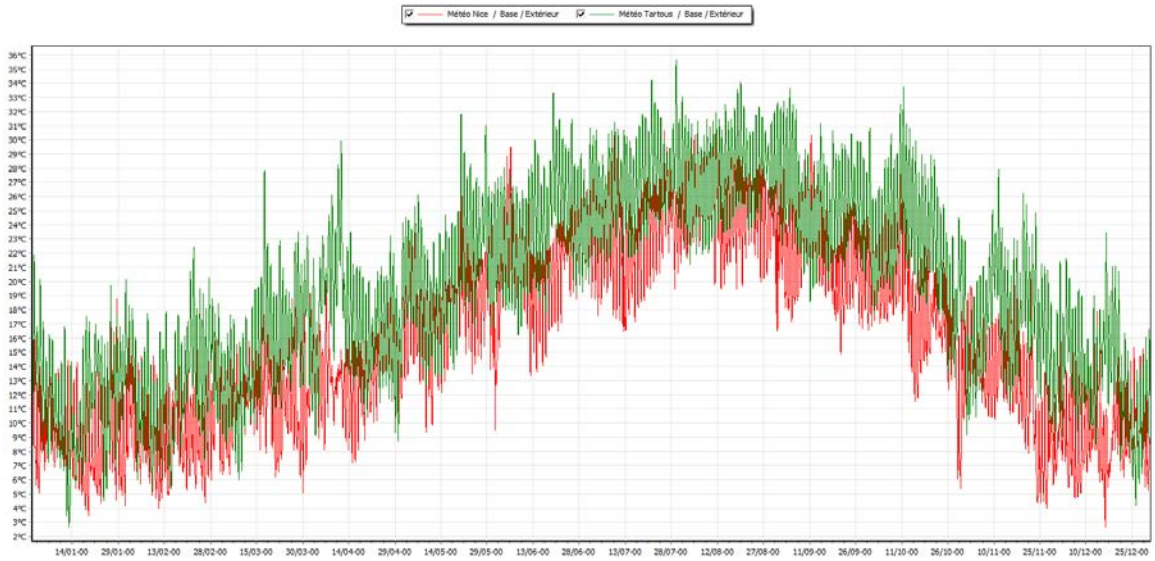
Figure 6.8 : Scénarios annuels de chauffage et climatisation en fonction de la température extérieure de Tartous



Du fait des contraintes du logiciel retenu, la définition des périodes de chauffage et de climatisation se fait sans ajout de périodes de transition « intermédiaires » (sans chauffage ni climatisation). Par contre, ce logiciel implique que le démarrage/l'arrêt de la climatisation ou du chauffage est complètement conditionnée par la température intérieure de l'appartement. Ceci signifie que les consommations énergétiques de chauffage et de climatisation interviennent lorsque les deux conditions suivantes sont respectées : on se situe dans la période préalablement définie « avec chauffage » ou « avec climatisation » et la température intérieure de l'appartement s'éloigne de la température de consigne.

Les deux courbes de la température extérieure de la ville de Tartous et de la ville de Nice sont illustrées dans la figure 6.9 :

Figure 6.9 : Température extérieure pour les sites de Tartous et Nice



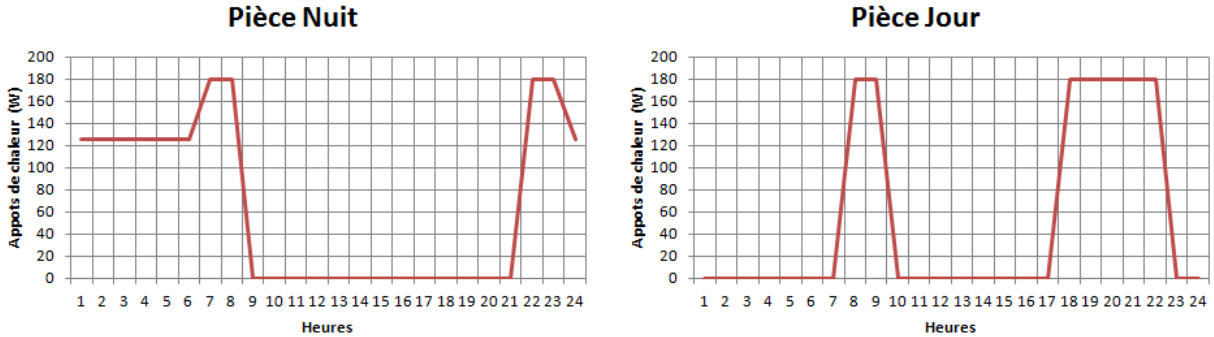
La comparaison entre les deux courbes montre que le climat de Tartous est plus chaud que celui de Nice, avec une température maximale lors de la saison de chauffage et de climatisation plus importante. Du fait de cette différence importante, nous pouvons dire que le choix de scénarios de climatisation et de chauffage pour la ville de Tartous différent de ceux de la RT2012 H3. Nous savons qu'en général, les périodes de chauffage et de climatisation se

situent, pour la première, de fin septembre à fin avril, et pour la seconde, de début mai à mi-septembre. Il y a donc un décalage entre la zone de Tartous et la zone française H3.

1.2.2. Taux d'occupation

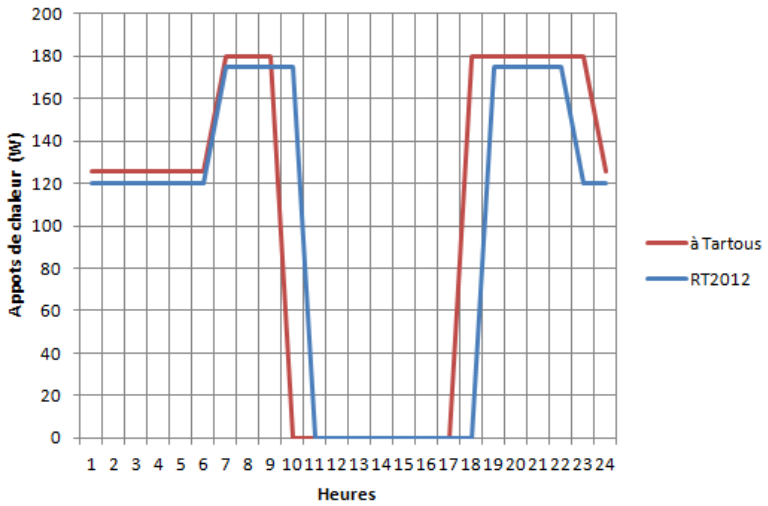
Nous avons défini ce scénario dans le chapitre précédent (voir chapitre 5 § 3.4.3), suite à une enquête de terrain. Ce scénario permet de prendre en compte les apports internes de chaleur et d'humidité liés à la présence humaine. La figure 6.10 illustre les apports de chaleur dus aux occupants sur une journée dans deux pièces (jour comme le salon, et nuit comme la chambre).

Figure 6.10 : Niveaux d'apports internes dus aux occupants (3 personnes) sur une journée dans une pièce (nuit/jour)



De la même manière que pour le scénario de consigne de température, nous choisissons le scénario le plus exigeant pour tout l'appartement sans différencier les pièces (jour/nuit). Dans la figure 6.11, nous superposons le scénario moyen « Tartous » avec le scénario moyen français pour représenter les différences.

Figure 6.11 : Niveaux d'apports internes dus aux occupants sur une journée de semaine (pour la RT2012 et à Tartous)



1.2.3. Puissance dissipée par les appareils électriques

La puissance dissipée par les appareils électriques représente la chaleur dégagée par l'ensemble des équipements « mobiliers » (électroménager, ordinateur…), qui a un impact important sur les besoins énergétiques en chaleur et en refroidissement. Les apports internes suscités dépendent du taux d'équipement des bâtiments. Cette méthode de calcul distingue les apports internes de chaleur liés aux équipements en fonctionnement permanent et ceux liés

aux équipements qui fonctionnent uniquement lors des périodes de présence des occupants [méthode de calcul Th-BCE 2012].

La RT2012 prend en moyenne en compte la puissance de chaleur dégagée par l'ensemble des équipements en période d'occupation à hauteur de 5,7 W/m^2, et, en période de sommeil ou d'inoccupation, à hauteur de 1,1 W/m^2. Ces puissances moyennes ont été définies en prenant en compte les équipements suivants :

Tableau 6.2 : Apports internes de chaleur dans les équipements pris en compte dans le calcul de la RT2012

Équipements pris en compte	Apport interne de chaleur en kWh/(m^2.an)
Cuisson	3,7
Audiovisuel	6,8
Informatique	5,0
Lavage	0,6
Froid (fonctionnement continu)	8,0
Appareils ménagers	2,2
Total	26,3

Notre étude de terrain (cf. chapitre 5 § 4.3.) montre un apport dissipé total de 28,64 kWh/(m^2.an) pour l'appartement de référence, soit une valeur proche de celle de la RT2012. Pour cette raison, nous adoptons la valeur de la RT2012 en apport interne de chaleur dissipée par les équipements (cf. l'annexe 3 sur les chaleurs dissipeés).

1.2.4. Taux de ventilation

Nous retenons, pour le scénario de notre travail expérimental, une valeur de 1 vol/h pour une ventilation naturelle avec des fenêtres ouvertes et fermées selon la localisation, des infiltrations d'air, et en tenant compte de l'état d'étanchéité moyenne de notre appartement de référence (cf. chapitre 5 § 3.3.4).

Mais, conscient que cette valeur peut varier d'un logement à un autre, et même d'une période à une autre, nous établirons une étude de sensibilité (cf.§.ch-6 .4.5.2) qui prendra en compte plusieurs valeurs de ventilation pour évaluer l'importance de ce paramètre sur la consommation énergétique.

1.2.5. Niveau d'éclairement

La RT2012 propose des scénarios d'éclairage conventionnels. La puissance d'éclairage conventionnelle est fixée à 1,4 W/m² dans cette méthode de calcul. Cette valeur résulte d'une puissance totale installée dans le bâtiment de 14 W/m² et d'un facteur de non simultanéité d'utilisation des différents points d'éclairage. Cette puissance de 14 W/m² correspond à l'installation d'un point lumineux (lampe fluocompacte de 11 W) par tranche de 8 m² environ. Cette méthode de calcul considère en outre que seuls 10 % des points lumineux sont allumés simultanément [méthode de calcul Th-BCE 2012].

Le calcul de l'éclairage, dans cette méthode, est conventionnellement basé sur les points suivants :

- caractéristiques fixes, quel que soit l'équipement d'éclairage artificiel :
  - (1) interrupteurs manuels uniquement ;
  - (2) courbe de coefficient C2 calée sur le point de référence :

(Ei_{nat} = 200 lx ; C2 = 0,05)[111] ;

- seul l'éclairage naturel a une influence sur la consommation d'éclairage ;
- exigence minimale : les baies représentent 1/6e de la surface habitable.

Pour notre recherche, et grâce aux résultats de notre enquête, nous avons trouvé que la puissance d'éclairage dans l'appartement de référence est de 12,5 W/m^2 (cf. chapitre 5 § 3.3.5), une valeur très proche de celle conventionnelle de la RT2012 (14 W/m²). Cela est justifié par le fait que l'architecture courante, dans la ville de Tartous, respecte l'exigence minimale, où les baies représentent plus de 1/6e de la surface habitable (cf. chapitre 3 § 2. Tableau 3.1).

Pour ces raisons, nous allons adapter le scénario d'éclairage conventionnel de la RT2012 dans les bâtiments résidentiels collectifs, en prenant en compte toutes ses exigences.

En ce qui concerne l'éclairement souhaité, nous adaptons le résultat de l'analyse effectuée (cf. chapitre 5 § 3.3.5 Niveau d'éclairement), l'éclairement souhaité est donc de 300 lux pour un plan de travail de hauteur 0,9 m.

Nous rappelons que le logiciel Comfie-Pleiades calcule d'abord l'éclairage naturel selon les données météorologiques et selon les heures de présence humaine dans chaque pièce, puis calcule les besoins et la puissance des éclairages artificiels selon l'éclairement souhaité.

1.2.6. Les besoins en eau chaude sanitaire

Le besoin hebdomadaire en eau chaude sanitaire est réparti en profils horaires et exprimé en litres d'eau à 40 °C, ce qui correspond à la température moyenne d'utilisation finale. Pour les maisons individuelles ou accolées et les logements collectifs, ces besoins sont calculés en fonction de la densité d'occupation conventionnelle. Ce besoin d'eau chaude sanitaire est posé comme étant égal, en moyenne, à 500 l à 40 °C/adulte/semaine. Il est modulé suivant les périodes d'occupation/d'inoccupation et la période de l'année (été/hiver et périodes de vacances) [méthode de calcul Th-BCE 2012].

Dans notre étude, nous retenons les valeurs de notre enquête (cf. chapitre 5 §3.3.6) avec un besoin d'ECS égal à 350 l à 50 °C/adulte/semaine en moyenne à Tartous.

2. Analyse critique de la RT2012 pour une extension vers la région Est-Méditerranée

L'objet de ce chapitre est (1) de présenter brièvement les principales caractéristiques de la RT2012 ; (2) d'identifier les éléments de la RT2012 et la méthode applicables dans la région Est-Méditerranée ; (3) d'identifier les points durs qui empêcheraient l'application de cette méthode à la région Est-Méditerranée .

2.1. La structuration du bâtiment selon la méthode de la RT2012

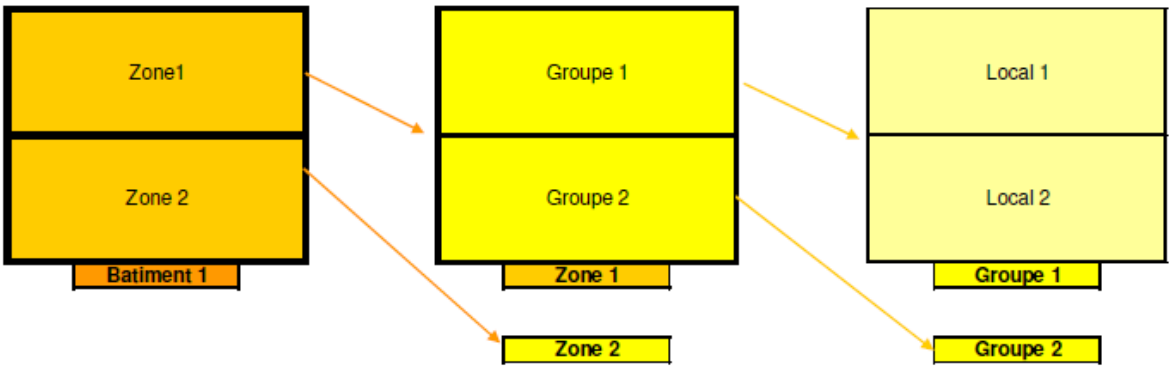
La méthode de calcul Th-B-C-E 2012 a pour objet le calcul réglementaire des coefficients Bbio, C_{ep} et T_{ic}. Elle n'a pas pour vocation d'effectuer un calcul de consommation réelle compte tenu des conventions retenues.

Cette méthode de calcul utilise comme données d'entrée tous les éléments descriptifs du bâtiment et de ses équipements, qui sont définis de façon opposable.

[111] Ei_{nat} : éclairement naturel intérieur (lux).

Pour faciliter le calcul, le bâtiment, selon la méthode TH-BCE 2012, est découpé en plusieurs zones, groupes et locaux. La figure 6.12 présente la structure du bâtiment en termes d'algorithmes :

Figure 6.12 : : Structure du bâtiment selon la méthode TH-BCE 2012



2.1.1. Le niveau « Bâtiment »

C'est le niveau où s'expriment les exigences réglementaires en matière de coefficient Bbio et C. Les éléments communs à tout le bâtiment (par exemple la situation géographique ou l'altitude) sont définis à ce niveau.

2.1.2. Le niveau « Zone »

Ce niveau correspond à un regroupement des parties du bâtiment pour lesquels les scénarios d'utilisation sont identiques. Conventionnellement, tous les locaux d'une zone sont considérés comme étant en connexion aéraulique. L'impact des défauts d'étanchéité est donc calculé à la frontière d'une zone. C'est donc également à ce niveau que sont définies les possibilités de ventilation traversante, ou entre niveaux, relativement à l'impact des défauts d'étanchéité.

2.1.3. Le niveau « Groupe »

Ce niveau regroupe la quasi-totalité des informations requises. C'est en particulier à ce niveau que s'effectue le calcul des températures intérieures (et donc la vérification de l'exigence réglementaire afférente) ainsi que des besoins de chauffage, de refroidissement et d'éclairage.

Une même zone sera séparée en différents groupes pour les raisons suivantes :

1) Locaux principaux avec évolutions de température très différentes.

2) Locaux aux températures proches dont on veut séparer des besoins de chauffage et/ou de refroidissement.

L'éclairement intérieur est calculé au niveau du groupe après distinction entre parties ayant ou non accès à l'éclairage naturel.

Du fait de la définition de la zone, les différents groupes d'une même zone sont en connexion aéraulique. La structuration des groupes par rapport à ces échanges est la suivante :

- une zone peut comporter un ou plusieurs groupes dits « standard »,
- une zone peut comporter 0 ou 1 groupe dit de « circulation ».

2.1.4. Le niveau « Local »

Le niveau « Local » permet d'affiner les apports internes de chaleur et d'humidité, pris en compte ensuite au niveau du groupe. Les surfaces de locaux sont définies par usage, au niveau de la zone.

La structuration du bâtiment avec ses quatre niveaux (bâti, zone, groupe et local) des divisions du bâtiment en matière de comportements thermiques, en exprimant les exigences réglementaires et les données métrologiques, géographiques, scénarios d'utilisation et apports internes en chaleur et humidité, pour pouvoir effectuer les calculs nécessaires des besoins et consommations énergétiques. Nous allons garder la même structuration du bâtiment dans notre recherche afin de nous rapprocher au maximum de la logique de la méthode RT2012.

2.2. La structure des systèmes

La méthode de calcul distingue les systèmes correspondant à des usages différents, qui sont : le chauffage, le refroidissement, la ventilation, l'ECS, l'éclairage et la production d'énergie. Pour chacun des systèmes, cette méthode de calcul distingue les trois niveaux suivants :

1) L'émission correspondant à la satisfaction du besoin de l'occupant : chaleur, froid, débits soufflés et/ou extraits, eau chaude sanitaire, lumière artificielle.
2) La distribution correspondant aux réseaux alimentant les émetteurs.
3) La génération correspond à l'alimentation énergétique des réseaux de distribution.

Suite à notre enquête sur le terrain concernant les systèmes utilisés dans les bâtiments résidentiels à Tartous (cf. chapitre 3 § 3.3.), le résultat montre des systèmes individuels, et non collectifs, y compris au sein d'un même appartement, pour les systèmes de chauffage, de climatisation, d'ECS et pour la ventilation.

De ce fait, nous pouvons négliger les deux niveaux de calculs concernant les réseaux d'alimentation et de distribution.

Notre choix de systèmes de production sera basé sur la réalité de terrain : nous ne pouvons pas changer les habitudes ou les modes de vie des ménages, donc nous allons adapter les solutions utilisées dans le site d'étude qui sont présentées dans le tableau 6.3.

Tableau 6.3 : Résumé des systèmes utilisés dans la ville de Tartous

Système	Chauffage	Climatisation	Ventilation	ECS	Éclairage
Type	Radiateur électrique individuel	Pompe à chaleur non réversible air-air	Naturelle ou ventilateur électrique individuel (aspirateur)	Ballon d'eau chaude avec résistance électrique	Lampes fluorescentes Osram
Description	Différentes puissances selon la pièce à chauffer (entre 1 et 2 kW)	En général COP=2,7 avec puissance 12 000/18 000 Btu (3,517 à 5,275 kW) Puissance de ventilation 100 W	Installée dans la cuisine ou dans les salle de bains ou w.-c. Puissance en général 150 cfm[112]	Ballon de 200 l. La résistance électrique est de 1 200 W	Puissance en moyenne 25 W par lampe ; quantité d'éclairage 300 lux pour une table de travail 90 cm

[112] 1 cfm (*Cubic feet per minute*)= 1,699 m^3/h.

2.2.1. Les systèmes de chauffage

Les systèmes de chauffage les plus utilisés dans la ville de Tartous sont les radiateurs électriques, les poêles à mazout ou au gaz pour la production de chaleur. La subvention du prix de l'électricité par l'État et l'absence occasionnelle de produits fossiles comme le mazout et parfois le gaz justifient l'utilisation majoritaire de l'électricité comme source principale de production de chaleur. Les ménages utilisent des radiateurs individuels dans les pièces occupées et nous allons adopter ce type de convecteur électrique comme mode de chauffage avec différentes puissances selon les pièces à chauffer.

Dans le contexte actuel, il nous paraît difficile de changer le système de chauffage. En France, la RT fait évoluer l'usage de l'électricité pour le chauffage (promotion des PAC, restriction de l'usage des convecteurs électriques) et met en avant l'usage du gaz ou de la biomasse. Mais en Syrie, cette alternative n'existe pas du fait de l'absence de réseaux de gaz pour alimenter les chaudières à gaz, et de l'absence de chaudières centrale à bois (avec, en outre, la difficulté de trouver des quantités de bois suffisantes pour assurer le chauffage pendant la période d'hiver).

2.2.2. Les systèmes de climatisation

Le système de climatisation le plus utilisée en Syrie est de type VRV. Il est adopté dans notre étude par le biais d'une pompe à chaleur air-air non réversible, dont un module est installé à l'extérieur du bâtiment, un réseau fluide véhiculant le fluide frigorigène et une unité terminale intérieure équipée de ventilateur et d'un échangeur à 2 tubes. La puissance de chaque unité de climatisation est adaptée selon le volume des pièces concernées. La pompe à chaleur assurant le rafraîchissement de l'appartement avec un coefficient de COP=2,7, qui représente la valeur moyenne des PAC sur le marché syrien. La condition de fonctionnement amont est de 35 °C sur l'air extérieur, aval de 27 °C sur l'air intérieur avec une puissance du ventilateur de 100 W.

L'application de solutions alternatives comme la climatisation centralisée de type VRV est limitée en Syrie du fait du surcoût lié à ce type installation et de ces contraintes dont la mise en œuvre d'un « réseau de distribution dans le faux plafond ». Cette application est donc absente dans les bâtiments résidentiels. Une autre solution utilisée en France serait la mise en place d'un réseau d'eau glacée, mais elle est totalement absente sur le marché syrien du bâtiment résidentiel.

2.2.3. Les systèmes de ventilation

Le système de ventilation le plus utilisé dans notre site est basé sur la ventilation naturelle assurée par l'ouverture des fenêtres et des portes-fenêtres, ainsi que sur une ventilation mécanique grâce à un ou des ventilateurs électriques individuels, installé principalement dans la cuisine et les toilettes qui donne directement vers l'extérieur ou sur une cour intérieure de l'immeuble. Nous prenons donc en compte ce mode de ventilation naturelle assurée par l'ouverture des portes et des fenêtres et favorisée par une orientation généralement retenue des bâtiments (orientation sud ou ouest) qui valorisent les vents dominants.

2.2.4. Les systèmes d'ECS

Pour produire l'ECS dans les résidences, des ballons d'eau chaude équipés de résistance électrique sont souvent installés dans la cuisine, dans la salle de bains ou entre ces deux pièces, dans le loggia. Le volume varie selon les logements, mais il est souvent de 200 l pour un appartement de surface moyenne. Les émetteurs sont les dispositifs finaux de fourniture d'eau chaude sanitaire (robinets).

L'application d'une solution alternative comme le chauffe-eau solaire est envisageable en Syrie du fait de son prix raisonnable et de la connaissance technique locale quant à cette solution. Par contre, le ballon thermodynamique, de conception plus complexe et apparu beaucoup plus récemment sur le marché européen, est totalement absent du marché local.

2.2.5. L'éclairage artificiel

La consommation de l'éclairage artificiel est calculée en fonction de l'éclairement naturel, de la régulation des systèmes et de leur puissance. Les systèmes d'éclairage artificiel sont très variés, et leur installation est mise en place par l'occupant du logement. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi d'adopter un scénario d'éclairage conventionnel avec la méthode de calcul de la RT2012, qui ne considère que la puissance installée d'éclairage.

2.3. Évaluation de l'application de la méthode RT2012 dans le contexte de la région

Pour pouvoir adopter la forme générale de la RT2012, nous allons d'abord vérifier la possibilité d'appliquer et d'adapter les trois critères principaux, dits « exigences de résultats » : B_{bio}, C_{ep} et T_{ic}.

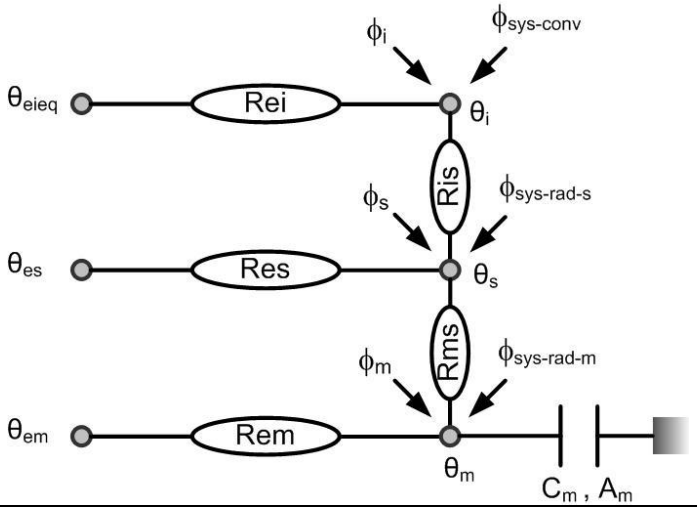
Le calcul de ces critères qui dépend de la détermination de nombreux paramètres peut se révéler critique pour des sites géographiques différents des sites français. Un travail d'ajustement est alors nécessaire pour appliquer ces indices au contexte Est-méditerranée.

Par la suite, une vérification de l'application des exigences en moyens figurant dans le règlement RT2012 (ECS solaire thermique, ENR, RCU, ratio de vitrage, ouverture, traitement des ponts thermiques, étanchéité à l'air, comptage d'énergie, etc.) est nécessaire pour avoir une vision complète sur la possibilité de l'extension de la RT2012 à la région Est-Méditerranée.

2.3.1. Application des critères principaux

Les calcul des températures intérieures et des besoins de chauffage, refroidissement et d'éclairage sont effectués au niveau du groupe. Ces calculs sont réalisés au travers d'un modèle dynamique, au pas de temps horaire, fondé sur des simplifications de transfert de chaleur entre le milieu intérieur et extérieur. La figure 6.13 présente ce modèle sous la forme d'un réseau RC :

Figure 6.13: Schéma RC du modèle de comportement thermique d'un groupe



θ_{eieq} : Température de l'air extérieure (°C), θ_{es} : Température extérieure équivalente des baies (°C), θ_{em} : Température extérieure équivalente des composants opaques (°C), ***Rms*** *: Résistance thermique d'échange entre les surfaces internes et l'ambiance intérieure (pour les parois lourdes) (K/W),* ***Rei*** *: Résistance due au renouvèlement d'aire,* ***Res*** *: Résistance due des composants légers (vitrages),* ***Rsi*** *: Résistance due aux échanges internes par convection et surfaciques,* ***Rem*** *: Résistance de transmission entre l'environnement extérieur et la surface intérieure, ϕ_i : Flux de chaleur convectif au nœud d'air θ_i dû aux sources internes et aux apports de chaleur convectifs dus à la lame d'air intérieure ventilée du vitrage (W), ϕ_s : Flux de chaleur radiatif au nœud θ_s dû aux sources internes (W), ϕ_m : Flux de chaleur radiatif au nœud θ_m dû aux sources internes (W), ϕ_{sys} Puissance sensible totale (convective+radiative) émise par le ou le(s) émetteurs du groupe (W), ϕ_{sys_conv} : Puissance sensible totale convective émise par le ou le(s) émetteurs du groupe (W), $\phi_{sys\_rad\_s}$: Puissance sensible totale radiative émise par le ou le(s) émetteurs du groupe au nœud de température θ_s (W), $\phi_{sys\_rad\_m}$: Puissance sensible totale radiative émise par le ou le(s) émetteur du groupe au nœud de température θ_m,* ***h_{ri}*** *Coefficient d'échange radiatif intérieur (=5,5 W/m²K),* ***h_{ci}*** *Coefficient d'échange convectif intérieur (=2,5 W/m²K),* ***h_{si}*** *Coefficient d'échange surfacique,* ***A_m*** *Surface d'échange équivalent des parois opaques avec l'ambiance. m²,* ***C_m*** *: Capacité thermique quotidienne du groupe (déterminée selon la méthode décrite dans les règles Th-Bât dans leur partie inertie Th-I) (kJ/K),* ***Ai*** *: Surface interne totale. Le calcul s'effectue en tenant compte des échanges thermiques avec l'extérieur (à travers l'enveloppe et par la ventilation), des apports solaires et des gains intérieurs dus aux occupants et aux équipements.*

En analysant ce modèle, nous pouvons constater que la majorité des valeurs nécessaires des paramètres sont disponibles à l'exception des valeurs des températures θ_{es} extérieures des baies et θ_{em} extérieur des composants opaques. Ces dernières nécessitent une mesure spécifique que nous ne pouvons pas effectuer dans le cas de notre étude (dans le cas de la RT2012, ces données sont disponibles pour les sites climatiques français).

Nous allons abandonner ce modèle RC et nous allons retenir la simulation thermique dynamique pour calculer les indices principaux du label énergétique..

2.3.1.1. Application de l'indice B_{bio}

Le calcul de besoin bioclimatique B_{bio} est simple, et donné dans l'équation suivante :

Équation 6.1

$$\mathbf{Bbio = 2\ B_{chauffage} + 2\ B_{froide} + 5\ B_{Éclairage}}$$

Les valeurs des termes $B_{chauffage}$, B_{froide} et $B_{Éclairage}$ peuvent être trouvées à partir de l'analyse STD de notre bâtiment et non pas à partir du modèle RC comme le réalise la RT2012.

Il nous faut calculer B_{biomax}. Pour cela, nous cherchons les valeurs des paramètres de l'équation suivante :

Équation 6.2

$$\mathbf{Bbio_{max} = Bbio_{max\ moyen} * (M_{bgéo} + M_{balt} + M_{bsurf})}$$

- En ce qui concerne le $Bbio_{max\ moyen}$, la réglementation RT2012 exige deux valeurs de CE (CE1 = 60 pour les logements non climatisés, et CE2 = 80 pour les logements climatisés).
- En ce qui concerne le $M_{B\ géo}$, la réglementation RT2012 impose des valeurs en fonction de la zone climatique et de la zone géographique du site, soit :

Zone climatique	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H2c	H2d	H3
$M_{bgéo}$	1,2	1,4	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7

En consultant ce tableau, nous pouvons remarquer que les valeurs élevées de $M_{bgéo}$ ***correspond à des climats « froids ».*** Le paramètre $M_{bgéo}$ atteint une valeur de 0,7 pour la zone la plus chaude en France (H3 qui correspond au sud de la France).

Une analyse logique de ces valeurs montre leur corrélation avec les besoins en chauffage. Nous avons identifié les valeurs des degrés-heures de chauffage pour chaque zone climatique en France et comparé celles-ci avec les valeurs $M_{bgéo}$. La figure 6.14 illustre cela pour toutes les zones climatiques en France .

Figure 6.14 : Nombre de degrés-heures de chauffage du les climats en France et à Tartous

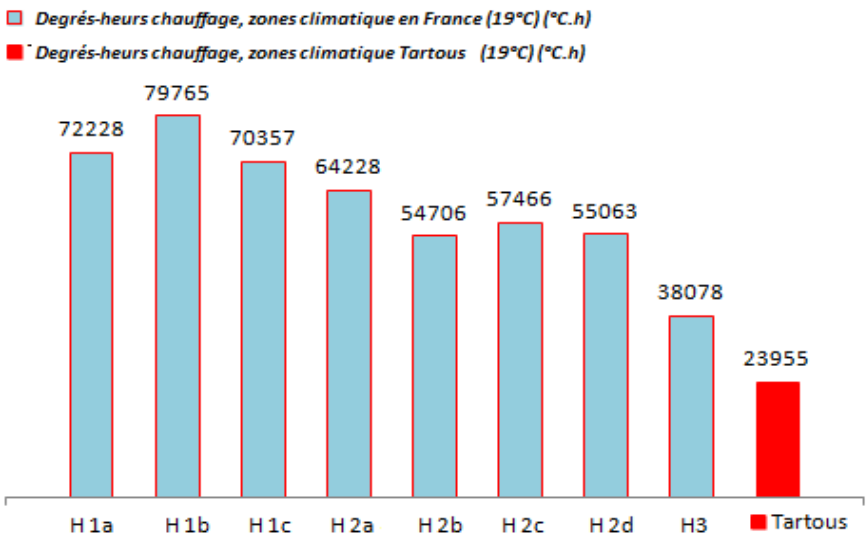
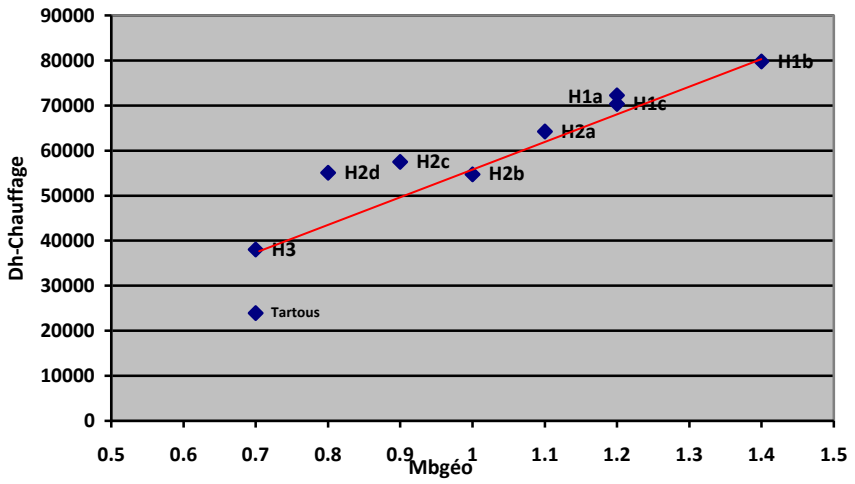


Figure 6.15 : Courbe de comparaison ($M_{bgéo}$, Dh chauffage) zones climatique en France et Tartous



La corrélation entre les valeurs du coefficient $M_{bgéo}$ et les Dh-Chauffage montre une cohérence remarquable. Pour évaluer une valeur de $M_{bgéo}$ correspondant à notre site d'étude, on compare les courbes des températures de notre site et de la zone H3 (Nice), nous avons observé une évolution de température très proche, avec une différence de 3 °C à 6 °C en faveur de notre site de Tartous. Par sécurité, nous choisissons donc la valeur de 0,7 pour notre site représentatif, rappelons le, d'une grande partie des villes côtières de l'Est-méditerranée.

– La valeur de M_{balt} est donnée selon l'altitude du bâtiment :

Altitude (m)	0 à 400 m	401 à 800 m	≥ 800 m
M_{balt}	0	0.2	0.4

Pour notre site, l'altitude est de 5 m, donc $M_{balt} = 0$.

– En ce qui concerne le M_{bsurf}, le tableau montre les calculs et les valeurs adoptées par la réglementation RT2012 :

$$\text{Si } \frac{SHON_{RT}}{N_L} \leq 120\ m^2 : \quad M_{bsurf} = \frac{30 - 0.25 \times SHON_{RT}/N_L}{Bbio_{maxmoyen}}$$

$$\text{Si } 120\ m^2 < \frac{SHON_{RT}}{N_L} \leq 140\ m^2 : \quad M_{bsurf} = 0$$

$$\text{Si } 140\ m^2 < \frac{SHON_{RT}}{N_L} \leq 200\ m^2 : \quad M_{bsurf} = \frac{70/3 - SHON_{RT}/6 \times N_L}{Bbio_{maxmoyen}}$$

$$\text{Si } \frac{SHON_{RT}}{N_L} > 200\ m^2 : \quad M_{bsurf} = -\frac{10}{Bbio_{maxmoyen}}$$

Pour l'appartement de référence, dont nous rappelons qu'il est représentatif de plus de 70 % du parc immobilier résidentiel, le $SHON_{RT}$ = 129,81, ce qui implique que $M_{bsurf} = 0$

La valeur de l'indice B_{biomax} pour cet appartement représentatif du parc immobilier des villes côtières de Est-méditerranée s'établit donc comme suit :

$$B_{biomax} = 80 \times (0,7 + 0 + 0) = 56 \quad \text{(pour les bâtiments climatisés)}$$

2.3.1.2. Application de l'indice C_{ep}

Les consommations totales en énergie finale et en énergie primaire sont obtenues par sommation de l'ensemble des postes consommateurs en énergie dans le bâtiment (chauffage, climatisation, ECS, éclairage, auxiliaires ventilation et pompes). Cette valeur est présentée dans l'équation suivante :

Équation 6.3

$$C_{ep} = C_{ep\text{-}ch} + C_{ep\text{-}clim} + C_{ep\text{-}ecl} + C_{ep\text{-}ECS} + C_{ep\text{-}auxv} + C_{ep\text{-}auxs)}$$

Nous n'avons pas ajouté les gains des panneaux photovoltaïques, car ce type d'équipement est cher et rarement utilisé en Syrie (cf. chapitre 3 § 4.3.).

Nous pouvons trouver toutes les valeurs des termes $C_{ep\text{-}ch}$, $C_{ep\text{-}clim}$ et $C_{ep\text{-}ECS}$ à partir de l'analyse STD du bâtiment de référence. La valeur de $C_{ep\text{-}auxv}$ et de $C_{ep\text{-}auxs}$ est 0, car il n'existe pas de consommations énergétiques sur les distributions du fait de l'utilisation de radiateurs pour le chauffage, de dispositifs VRV pour la climatisation et d'une résistance électrique pour l'ECS :

$$C_{ep\text{-}auxv} = C_{ep\text{-}auxs} = 0.$$

Il reste à calculer le $C_{ep\ max}$. Pour cela, nous cherchons les valeurs compatibles de ce terme avec notre cas d'étude :

Équation 6.4

$$C_{ep\ max} = 50 \times M_{ctype} \times (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{csuf} + M_{cGES})$$

- En ce qui concerne le M_{ctype}, le coefficient de modulation selon le type de bâtiment ou de partie de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2, deux valeurs sont imposées par la réglementation (CE1 = 1 pour les logements non climatisés, et CE2 = 1,2 pour les logements climatisés). Compte tenu du climat dans la région, on retient la valeur CE2=1,2.
- Pour le coefficient $M_{cgéo}$, le règlement donne des valeurs suivant la zone climatique et la zone géographique du site, soit :

Zone climatique	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H2c	H2d	H3
$M_{cgéo}$	1,2	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,9	0,8

  En regardant ce tableau, nous pouvons faire les mêmes remarques que précédemment que pour le facteur Bbio.

- Nous effectuons la même comparaison que pour la valeur de $M_{bgéo}$, et nous adoptons la valeur de 0,8 pour notre site.
- La valeur de M_{calt} est donnée selon l'altitude :

Altitude (m)	0 à 400 m	401 à 800 m	≥ 800 m
M_{calt}	0	0,2	0,4

  Pour notre site, l'altitude est de 5 m, donc $M_{calt} = 0$.

En ce qui concerne le M_{csurf}, le tableau montre les calculs et les valeurs adoptés par le règlement :

$$\text{Si} \quad \frac{SHON_{RT}}{N_L} \leq 120\ m^2 : \quad M_{csurf} = \frac{0.6 - 0.005 \times {SHON_{RT}}/{N_L}}{M_{ctype}}$$

$$\text{Si} \quad 120\ m^2 < \frac{SHON_{RT}}{N_L} \leq 140\ m^2 : \quad M_{csurf} = 0$$

$$\text{Si} \quad 140\ m^2 < \frac{SHON_{RT}}{N_L} \leq 200\ m^2 : \quad M_{csurf} = \frac{{7}/{15} - {SHON_{RT}}/{300 \times N_L}}{M_{ctype}}$$

$$\text{Si} \quad \frac{SHON_{RT}}{N_L} > 200\ m^2 : \quad M_{csurf} = -\frac{0.2}{M_{ctype}}$$

Pour notre cas où le $SHON_{RT}$ = 129,81, nous allons considérer que $M_{csurf} = 0$.

Nous pouvons considérer que $M_{cGES} = 0$, du fait de l'absence d'utilisation de bois-énergie, et de ce qu'aucun réseau de chauffage ou de climatisation n'existe dans notre cas.

La valeur de $C_{ep\ max}$ est donc la suivante :

$$C_{ep\ max} = 50 \times 1.2 \times (0.8 + 0 + 0 + 0) = 48\ kWh_{EP}/m^2 \quad \text{(pour les bâtiments climatisés)}$$

2.3.1.3. Application de l'indice T_{ic}

La réglementation RT2012 exige de vérifier l'indice de confort d'été T_{ic} dans les bâtiments non climatisés, mais pas dans les bâtiments climatisés. La réalité, dans notre site d'étude, montre que la plupart des bâtiments sont climatisés, il nous semble donc nécessaire de chercher un nouvel indice de confort.

Nous considérons qu'il y a « inconfort » lorsque la zone est occupée et que la température de la zone est supérieure à une température d'inconfort (27 °C, par convention).

2.3.2. Vérification de l'application des exigences de moyens

L'application de chaque exigence sur site exige une possibilité technique et un savoir-faire sur le terrain d'étude, ce qui implique un surcoût raisonnable. Nous allons à présent discuter chacune des exigences de moyens à appliquer sur notre terrain d'étude, et analyser sa possibilité réelle d'application :

Tableau 6.4 : Verification de l'application des exigences de moyens de la RT2012 dans la ville de Tartous

Exigence de moyens	Système d'application RT2012	Application sur le site
Dans l'article 16 « toutes les maisons individuelles ou accolées recourent à une source d'énergie renouvelable »	Eau chaude sanitaire solaire thermique.	Possible : le logement est équipé *a minima* de 2 m² de capteurs solaires permettant d'assurer la production de l'ECS.
	Raccordement à un RCU alimenté à plus de 50 % par une ENR de récupération.	Impossible : l'ENR applicable sur le site est le solaire thermique résidentiel ; pas de réseau de chaleur extérieur.
	Démontrer que C_{ep} comprend au moins 5 kWhep/m² produits par une source d'ENR.	Possible avec le solaire thermique.
	Recourir à la production d'ECS par un appareil électrique individuel de production d'eau chaude thermodynamique, avec un COP > 2.	Possible : installation de ballons d'eau chaude thermodynamique dans la mesure où il est possible de transporter cette technologie sur le marché syrien.

Ratio vitrage, ouverture	Surface totale des baies ≥1/6e de la surface habitable.	Possible : le pourcentage moyen sur site est de 23,5 % (voir tableau 3.1, chapitre 3).
	Les baies de tout local destiné au sommeil et de catégorie CE1 devront être équipées de protections solaires mobiles, de façon à ce que le facteur solaire des baies soit inférieur à un seuil allant de 0,1 à 0,65 selon leur position et leur exposition.	Possible : les protections solaires mobiles comme les rideaux sont intégrées dans les habitudes des ménages, mais il faut discuter de leur transparence pour bien protéger du soleil.
Traitement des ponts thermiques	Les parois séparant des parties de bâtiment à occupation continue de parties de bâtiments à occupation discontinue doivent présenter un coefficient de transmission thermique U qui ne peut excéder 0,36 W/(m².K) en valeur moyenne.	Difficilement réalisable : exige un savoir-faire de l'isolation bien maîtrisé, qui est absent du terrain considéré.
	Le ratio de transmission thermique linéique moyen global, ratio des ponts thermiques du bâtiment, n'excède pas 0,28 W/(m²ShonRT.K).	L'exécution d'une bonne isolation sur site est très difficile ; les savoir-faire techniques sur site sont très pauvres en ce qui concerne les traitements des ponts thermiques.
	Le coefficient de transmission thermique linéique moyen des liaisons entre les planchers intermédiaires et les murs donnant sur l'extérieur ou un local non chauffé n'excède pas 0,6 W/(ml.k).	L'exécution d'une bonne isolation sur site est très difficile ; les savoir-faire techniques sur site sont très pauvres en ce qui concerne les traitements des ponts thermiques.
Perméabilité à l'air résidentiel	Option 1 : mesure de perméabilité à l'air réalisée par des opérateurs autorisés par le ministère en charge de la Construction.	Aucune connaissance technique pour appliquer cette exigence sur site. Dans les nouvelles constructions, les techniciens prennent des mesures légères pour n'atteindre un niveau d'étanchéité que pour les menuiseries.
	Option 2 : application d'une démarche qualité agréée par le ministère en charge de la Construction. Modalités d'application de cette exigence.	Idem.
Comptage d'énergie résidentiel	Utilisant un système de comptage ou d'estimation de la consommation d'énergie de chaque logement pour occulter les informations *a minima* mensuelles des occupants sur leur consommation par type d'énergie.	Cette technique est totalement absente sur le terrain, et elle exige une nouvelle technique au niveau du réseau électrique dans les constructions.

Les résultats d'analyse de ce tableau montrent la possibilité d'adopter quelques exigences de moyens, et d'en écarter d'autres. Les exigences de moyens à adopter seront :

- l'installation de solaire thermique pour couvrir le besoin en ECS ;
- la fixation d'un ratio de vitrages et d'ouvertures (qui existe déjà dans les habitudes de construction).

3. Simulation du bâtiment de référence par la méthode STD et évaluation des indices des performances énergétiques

3.1. Simulation STD

Nous effectuons la simulation thermique dynamique de l'appartement de référence en utilisant le logiciel Pleiades+Comfie, validé dans le chapitre précédent (cf. chapitre 5 § 5.6). Les données d'entrée (météo et enveloppe) sont modélisées selon les étapes détaillées dans le chapitre précédent (cf. chapitre 5 § 5.3.). En ce qui concerne les scénarios des usages (hebdomadaire et annuel), nous avons appliqué les scénarios conventionnels des usages déterminés dans la section précédente (cf. chapitre 6 § 2.2.).

En ce qui concerne le système de chauffage, nous avons modélisé des radiateurs électriques dans les pièces pour le chauffage. Le tableau (6.3) montre la puissance de ces radiateurs selon leur position. Les descriptions techniques de ces appareils sont détaillées dans l'annexe 4.

Tableau 6.5 : Puissances électriques des radiateurs pour chauffer les pièces de l'appartement de référence (kW)

Pièce	*Master bedroom*	Chambre bébé	Séjour	Salon	Cuisine	Couloir
Puissance électrique kW	1	1	1,5	1,5	1	1

Pour les systèmes de climatisation, des dispositifs VRV (air-air) sont modélisés par pièce. Le tableau 6.5 montre les puissances absorbées pour chaque pièce. Les descriptions techniques de ces appareils sont détaillées dans l'annexe 4.

Tableau 6.6 : Puissances absorbées des splits pour rafraîchir les pièces de l'appartement de référence (kW)

Pièce	*Master bedroom*	Chambre bébé	Séjour	Salon	Cuisine	Couloir
Puissance absorbée kW	5	5	5	5	5	-

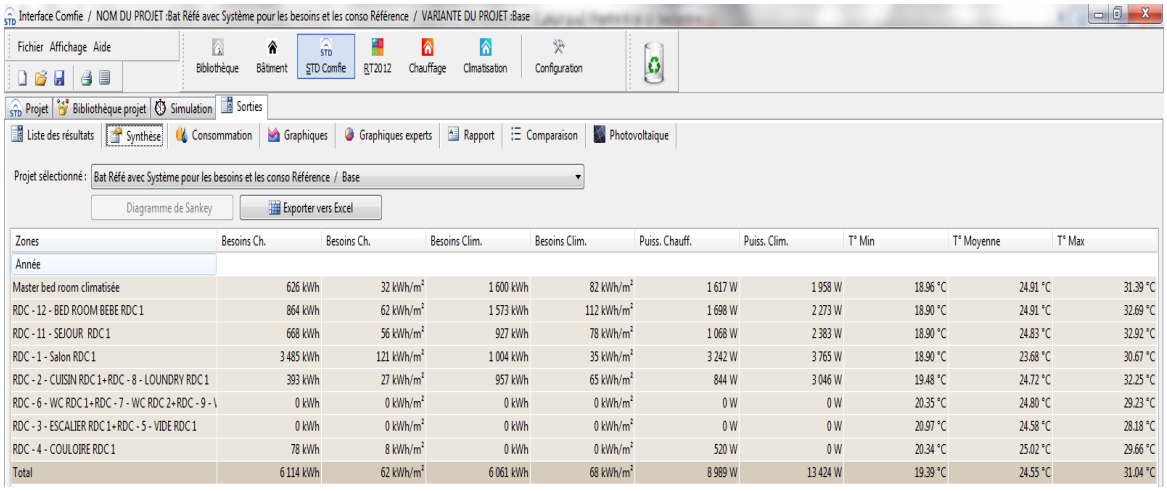
En ce qui concerne la production de l'ECS, nous avons modélisé une résistance électrique avec une puissance de 1,2 kW pour assurer l'eau chaude dans la cuisine et dans la salle de bains. Les descriptions techniques de ces appareils sont détaillées dans l'annexe 4.

Pour l'éclairage artificiel, l'adoption du scénario d'éclairage conventionnel de la RT2012 dans les bâtiments résidentiels collectifs a été justifiée précédemment (cf. chapitre 6 § 2.2. Niveau d'éclairement).

Trois types de résultats sont attendus d'après la STD (voir figure 6.16). Le premier concerne les besoins bioclimatiques pour les différents postes énergétiques – dans notre cas d'étude : $B_{chauffage}$, B_{froide} et $B_{éclairage}$. Nous avons trouvé par la simulation les valeurs suivantes :

$B_{chauffage}$ = 62 kWh/m^2. B_{froide} = 68 kWh/m^2 et $B_{Éclairage}$ = 2,67 kWh/m^2. Et la figure

Figure 6.16 : Résultats de la STD en valeurs des $B_{chauffage}$ et B_{froide}.

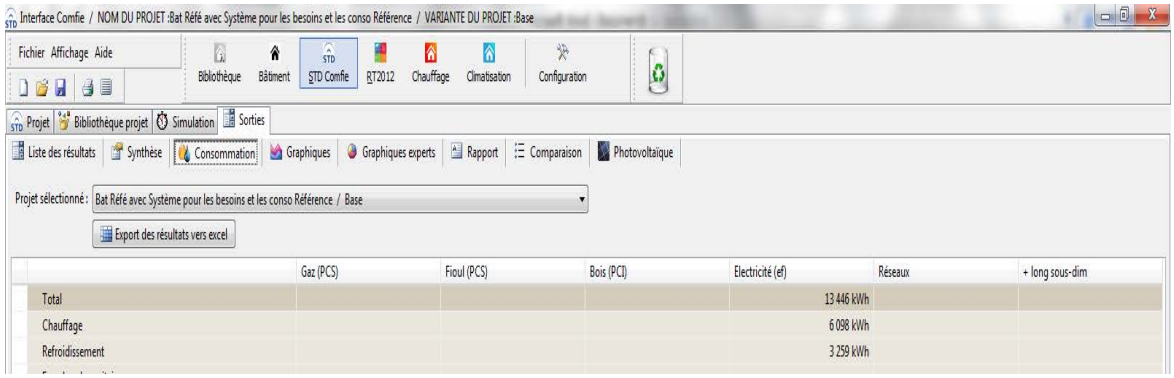


Zones	Besoins Ch.	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année									
Master bed room climatisée	626 kWh	32 kWh/m²	1 600 kWh	82 kWh/m²	1 617 W	1 958 W	18.96 °C	24.91 °C	31.39 °C
RDC - 12 - BED ROOM BEBE RDC 1	864 kWh	62 kWh/m²	1 573 kWh	112 kWh/m²	1 698 W	2 273 W	18.90 °C	24.91 °C	32.69 °C
RDC - 11 - SEJOUR RDC 1	668 kWh	56 kWh/m²	927 kWh	78 kWh/m²	1 068 W	2 383 W	18.90 °C	24.83 °C	32.92 °C
RDC - 1 - Salon RDC 1	3 485 kWh	121 kWh/m²	1 004 kWh	35 kWh/m²	3 242 W	3 765 W	18.90 °C	23.68 °C	30.67 °C
RDC - 2 - CUISIN RDC 1+RDC - 8 - LOUNDRY RDC 1	393 kWh	27 kWh/m²	957 kWh	65 kWh/m²	844 W	3 046 W	19.48 °C	24.72 °C	32.25 °C
RDC - 6 - WC RDC 1+RDC - 7 - WC RDC 2+RDC - 9 - \	0 kWh	0 kWh/m²	0 kWh	0 kWh/m²	0 W	0 W	20.35 °C	24.80 °C	29.23 °C
RDC - 3 - ESCALIER RDC 1+RDC - 5 - VIDE RDC 1	0 kWh	0 kWh/m²	0 kWh	0 kWh/m²	0 W	0 W	20.97 °C	24.58 °C	28.18 °C
RDC - 4 - COULOIRE RDC 1	78 kWh	8 kWh/m²	0 kWh	0 kWh/m²	520 W	0 W	20.34 °C	25.02 °C	29.66 °C
Total	6 114 kWh	62 kWh/m²	6 061 kWh	68 kWh/m²	8 989 W	13 424 W	19.39 °C	24.55 °C	31.04 °C

Le deuxième type de résultat concerne la consommation en énergie finale selon les postes énergétiques (voir figure 6.17) – dans notre cas : $C_{ef\text{- }ch}$, $C_{ef\text{- }clim}$, $C_{ef\text{- }écl}$ et $C_{ef\text{- }ECS}$. Nous avons trouvé par la simulation les valeurs suivantes :

$C_{ef\text{- }ch}$ = 47 kWh/m², $C_{ef\text{- }clim}$ = 25,1 kWh/m², $C_{ef\text{- }écl}$ = 2,67 kWh/m², $C_{ef\text{- }ECS}$ = 25,5 kWh/m².

Figure 6.17 : Résultats de la STD en $C_{ef\text{-}Ch}$ et $C_{ef\text{-}clim}$



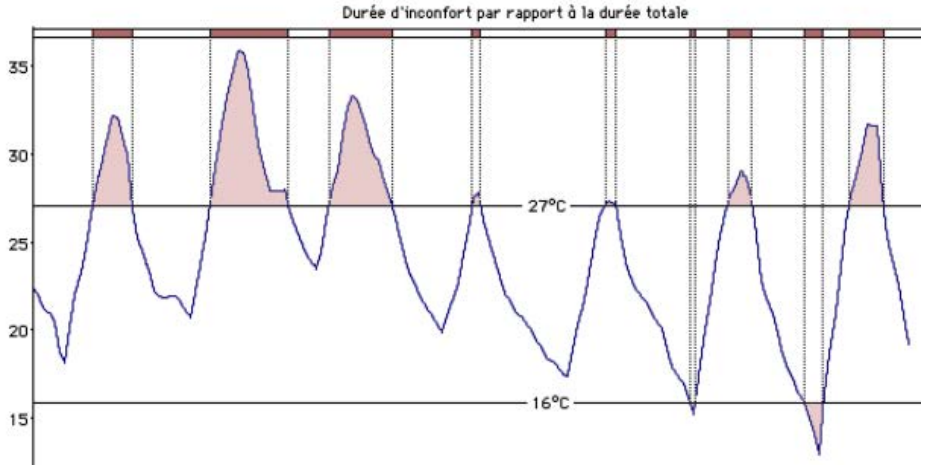
	Gaz (PCS)	Fioul (PCS)	Bois (PCI)	Electricité (ef)	Réseaux	+ long sous-dim
Total				13 446 kWh		
Chauffage				6 098 kWh		
Refroidissement				3 259 kWh		

Nous notons que les résultats de la STD ont pour la surface totale de l'appartement (SHON=129.81m²) donc :

$C_{ef\text{- }ch}$ = 6098/129.81= 47 kWh/m², $C_{ef\text{- }clim}$ = 3259/129.81 = 25,1 kWh/m².

Le troisième type de résultat concerne les températures intérieures dans les différentes zones et les niveaux de confort liés. Le logiciel Comfie+Pleiades offre la possibilité de mesurer le taux d'inconfort dans le cas d'étude. Pour chaque zone, l'indice d'« inconfort » est calculé par la totalisation des heures pour lesquelles la zone est occupée et en situation d'inconfort pendant la période de simulation, divisée par le nombre total d'heures d'occupation de la simulation et multiplié par 100. L'indice « Taux d'inconfort » présenté dans la figure 6.18 présente le pourcentage de temps d'occupation durant lequel la température de la zone est supérieure à 27 °C.

Figure 6.18 : Exemple de l'indice de taux d'inconfort dans le logiciel Comfie+Pleiades



Le résultat d'analyse de l'appartement de référence (avec un appareil de climatisation uniquement dans le *Master bedroom*) pour une période d'exemple choisie (la semaine la plus chaude en été) donne les nombres d'heures d'inconfort et le taux d'inconfort indiqués dans le tableau suivant :

Tableau 6.7 : Valeurs des apports solaires et taux de confort dans chaque pièce (période : semaine 33)

Zones	Apports solaires bruts	Heures > T°Inconfort	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort
	kWh	*h*	*%*	*%*
Master bedroom *climatisé*	51	14	60,8	23,73
Bedroom *bebe rdc 1*	67	70	46,74	100
Séjour	17	51	55,97	100
Salon	26	12	31,5	100
***Cuisine* +laundry**	0	51	41,85	100

Nous pouvons constater dans ce tableau que le taux d'inconfort pour la chambre *Master bedroom* est de 23,73 %. Ces heures d'inconfort se produisent durant le temps où l'appareil de climatisation est en veille et que les occupants sont à l'extérieur. Pour les autres zones thermiques, nous pouvons remarquer un état d'inconfort constant.

La température de consigne en été est de 27 °C : c'est la température de confort pour les occupants. La mesure expérimentale montre que la température dans toutes les pièces dépassent la valeur de température de confort. Il nous faut donc trouver des solutions techniques pour améliorer le confort.

Les détails du modèle et les résultats sont dans l'annexe 4.

3.2. Des critères à adopter

Nous avons montré, dans la section précédente, la possibilité d'appliquer deux indices réglementaires, le Bbio et le C_{ep}, contrairement à l'indice T_{ic}, qui nous semble peu approprié. Nous cherchons donc à déterminer un nouvel indice qui représente l'état de confort dans les bâtiments climatisés dans la région Est-Méditerranée. En ce qui concerne les exigences de moyens de la RT2012, l'analyse logique de leur application dans la ville de Tartous a été réalisée pour distinguer les exigences adoptables. Le résultat de cette analyse montre la

possibilité d'adopter la solution de solaire thermique et les ratios de vitrages et d'ouvertures dans notre site d'étude.

Nous calculons à présent les valeurs des indices réglementaires Bbio et C_{ep} à partir des résultats de STD appliqués à l'appartement de référence. Par la suite, nous proposerons un nouvel indice de confort pour la saison d'été. Une application de solaire thermique pour l'ECS est réalisée afin de vérifier la pertinence de cette exigence de moyens.

3.2.1. Valeur de l'indice B_{bio}

Rappelons que le calcul de l'indice Bbio est effectué selon l'équation 6.1 :

$$B_{bio} = 2\ B_{chauffage} + 2\ B_{froide} + 5\ B_{Éclairage}$$

À partir du résultat des calculs STD, nous trouvons les valeurs des besoins en chauffage, climatisation et éclairage afin de calculer le Bbio de notre appartement de référence :

$$Bbio_{bât} = 2 \times 62 + 2 \times 68 + 5 \times 2{,}67 = 273{,}35 \text{ points}$$

Rappelons que la valeur de l'indice $B_{bio\ max}$ pour notre appartement climatisé est :

$$Bbio_{max} = 80 \times (0{,}7 + 0 + 0) = 56 \text{(pour les bâtiments climatisés)}$$

La première analyse de ces résultats montre que les valeurs Bbio et $Bbio_{max}$ sont très éloignées : le $Bbio_{bât}$ fait environ 5 fois le $Bbio_{max}$. De ce fait, nous pouvons dire sa valeur est très éloignée de la limite réglementaire de la RT2012. Des améliorations par des solutions techniques dans le bâtiment sont donc nécessaires pour s'approcher des exigences réglementaire de la RT2012, mais on ne peut en aucun cas imposer les valeurs de RT2012 aux bâtiments dans le contexte EM. Il y a donc un travail nécessaire de recherche d'une valeur limite $B_{bio\ max}$ adaptée au contexte de la ville de Tartous.

3.2.2. Valeur de l'indice C_{ep}

Rappelons que le calcul de l'indice C_{ep} est effectué selon l'équation 6.2 :

$$C_{ep} = C_{ep\text{- ch}} + C_{ep\text{- clim}} + C_{ep\text{- ecl}} + C_{ep\text{- ECS}}$$

Les valeurs des consommations énergétiques finales pour les termes $C_{ef\text{- ch}}$, $C_{ef\text{- clim}}$, $C_{ef\text{- ecl}}$ et $C_{ef\text{- ECS}}$ sont obtenues à partir du calcul STD de l' appartement de référence. Une multiplication de ces termes par la valeur du vecteur énergétique de l'électricité en Syrie, d'une valeur de 2,97 (cf. chapitre 1 § 6.4.), est effectuée afin de trouver les différentes consommations énergétiques primaires $C_{ep\text{- ch}}$, $C_{ep\text{- clim}}$, $C_{ep\text{- ecl}}$ et $C_{ep\text{- ECS}}$:

$$C_{ep\ bât} = 2{,}97 \times 47 + 2{,}97 \times 25{,}1 + 2{,}97 \times 2{,}67 + 2{,}97 \times 25{,}5 = 297{,}8\ \mathbf{kwh_{EP}/m^2}$$

Rappelons que la valeur de l'indice $C_{ep\ max}$ pour l' appartement climatisé est de :

$$C_{ep\ max} = 50 \times 1{,}2 \times (0{,}8 + 0 + 0 + 0) = 48\ \mathbf{kwh_{EP}/m^2}$$

La première analyse de ces résultats montre que les valeurs ... et ….$_{ax}$ sont très éloignées : le ... fait environ 5 fois le **...**. De ce fait, nous pouvons dire sa valeur est très éloignée de la limite réglementaire de la RT2012. Des améliorations par des solutions techniques dans le bâtiment sont donc nécessaires pour s'approcher des exigences réglementaire de la RT2012, mais on ne peut en aucun cas imposer les valeurs de RT2012 aux bâtiments dans le contexte EM. Il y a donc un travail nécessaire de recherche d'une valeur limite ... adaptée au contexte de la ville de Tartous.

3.2.3. Le confort d'été

Les résultats des mesures et du calcul STD de l'appartement de référence (à l'origine équipé avec un appareil de climatisation uniquement dans la chambre *Master bedroom*) pendant la période estivale montre un état d'inconfort quasi-total dans toutes les pièces (cf. tableau 10). De plus, les très hautes valeurs des indices réglementaires B_{bio} et C_{ep} montrent la nécessité d'appliquer des solutions techniques passives afin d'améliorer l'état de confort dans l'appartement et diminuer ces valeurs élevées. Une série de solutions techniques (passives et actives) sera proposée à l'application dans notre étude.

L'application de chaque solution technique doit effectuer des changements sur la température vers le bas ou vers le haut. Ceci doit traduire l'efficacité de chacun dans l'amélioration de l'état de confort d'été. L'évaluation de cette efficacité sera traduite par l'indice IPS, que nous présentons par la relation suivante :

$$IPS = \Sigma \frac{T°réf - T°sys}{T°réf - 27°C}$$

Avec :

$T°_{réf}$: la température de l'appartement de référence à l'état d'origine.

$T°_{sys}$: la température de l'appartement de référence après application d'une solution technique.

27 °C : la température de confort adoptée en été.

L'indice IPS (indice de performance de solution technique) est le rapport entre la différence de température obtenue grâce à une solution technique et la différence de température nécessaire pour atteindre les conditions de température confort. La valeur de cet indice peut être compris entre +0 et 1 pour les solutions techniques positives qui réduisent la température intérieure, peut admettre une valeur négative pour les solutions techniques qui augmentent la température intérieure. Nous pouvons noter que plus l'IPS est proche de 1, plus la solution technique adoptée est efficace, et plus l'IPS est proche de 0, plus le système est inefficace pour réduire la température en été.

Une analyse de chaque solution technique retenue lors de l'analyse du chapitre 3 est détaillée dans la section suivante.

4. Des solutions techniques susceptibles d'apporter une amélioration énergétique du bâtiment de référence

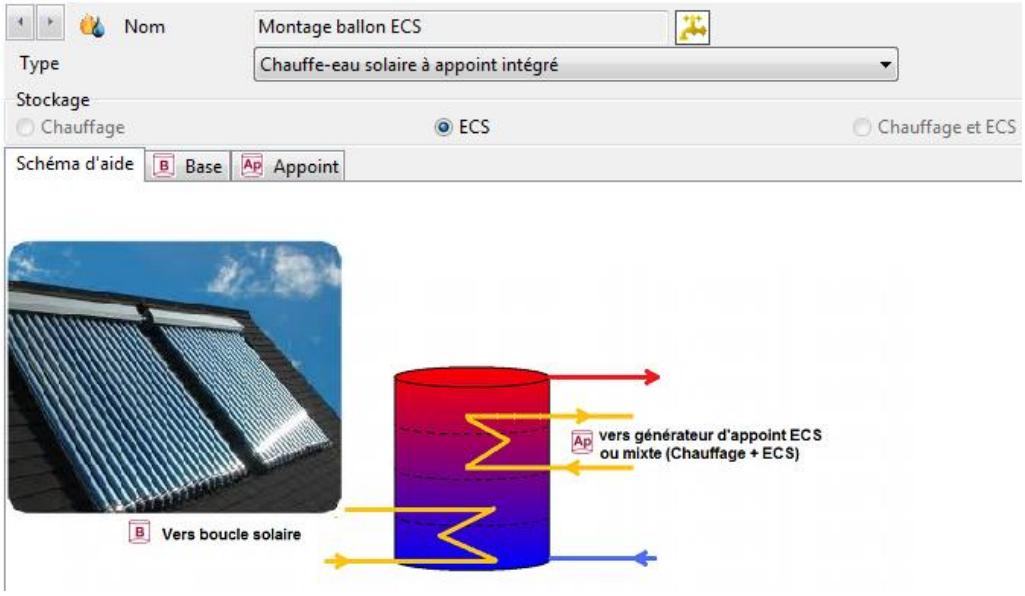
Les résultats du calcul STD du bâtiment de référence montrent un besoin bioclimatique avec une consommation énergétique élevée. Les résultats des enquêtes que nous avons réalisées dans la ville de Tartous révèlent des limites dans le choix de systèmes actifs économes en énergie comme ceux utilisés en France (cf. chapitre 3 § 4.2.3. ; chapitre 6 § 3.3.2.). De ce fait, nous allons appliquer les différentes solutions techniques qu'elles soient passives ou actives toutes réalisables selon notre enquête dans la ville de Tartous afin de déterminer l'amélioration en consommation énergétique dans notre cas de référence.

4.1. La solution active, le solaire thermique pour l'utilisation de l'ECS

L'installation solaire thermique adoptée consiste en une génératrice d'eau chaude sanitaire à appoint intégré, avec une génératrice électrique de puissance 1,2 kW, reliée à un ballon

d'eau chaude de 200 l, avec capteurs solaires tubulaires de 4 m^2 de surface, orientés au sud (azimut = 0°) avec une inclinaison de 45° (voir figure 6.19).

Figure 6.19 : Type de ballon ECS solaire avec appoint intégré avec des capteurs solaires tubulaires



La consommation électrique (énergie finale) nécessaire pour assurer les besoins en ECS durant l'année en utilisant cette solution solaire est de 5,6 kWh/m^2. Ce résultat nous semble cohérent avec la caractéristique de la météo de Tartous, qui ne présente que 50 jours, environ, dans l'année sans soleil direct.

La consommation électrique, de 25,5 kWh/m^2 (énergie finale) si l'on utilise la solution traditionnelle électrique pour produire l'ECS, pourrait ainsi être abaissée, si l'on adoptait la solution solaire thermique accompagnée d'un chauffe-eau électrique en cas d'absence de soleil, de 19,9 kWh/m^2.

L'application d'un système de chauffe-eau solaire dans les bâtiments résidentiels de notre site allégerait donc la consommation annuelle d'énergie primaire comme suit :

$$C_{ep} = C_{ep\text{- ch}} + C_{ep\text{- clim}} + C_{ep\text{- ecl}} + C_{ep\text{- ECS}}$$

$$\boldsymbol{C_{ep\ bât}} = 2{,}97 \times 47 + 2{,}97 \times 25{,}1 + 2{,}97 \times 2{,}67 + 2{,}97 \times 5{,}6 = 238{,}9\ \mathbf{kwh_{EP}/m^2}$$

Le descriptif du système d'eau chaude solaire est détaillé dans l'annexe 4.

4.2. Amélioration par des systèmes passifs

En présence de valeurs des indices réglementaires de la RT2012 (Bbio et C_{ep}) éloignées de leurs valeurs limites ($Bbio_{max}$ et $C_{ep,max}$) et d'un état de confort quasiment absent, il est indispensable de rechercher des solutions techniques adoptables et cohérentes avec le site d'étude en matière de conditions d'application (techniques disponibles et savoir-faire locaux). L'objectif est de mettre en place des valeurs limites aux indices réglementaires afin de réduire la consommation énergétique et d'améliorer le confort dans les logements résidentiels à Tartous.

Les résultats de notre analyse montrent que la consommation énergétique (climatisation, chauffage et ECS) est élevée. Nous pouvons remarquer d'ailleurs que certains indices présentent des valeurs remarquables : un taux d'inconfort très élevé dans l'appartement, des

apports solaires, dans la saison estivale, très importants, ce qui explique l'augmentation significative de la température intérieure de l'appartement.

Dans le cas de notre étude, nous devons poser la question de la rentabilité financière des solutions passives sur l'enveloppe. Cela se traduit par la mise en place de principes bioclimatiques pour la et ceci construction de manière optimale au niveau énergétique, en évitant l'utilisation de systèmes actifs.

Plusieurs études ont été réalisées dans le but d'augmenter l'efficacité énergétique dans les bâtiments de la Méditerranée. Citons l'étude de rénovation d'une maison à Marseille, dans le sud de la France, réalisée par C. Flory-Celini[113] en 2008. Cette étude montre une réduction des besoins d'un facteur 4. Les systèmes passifs adoptés sont : l'isolation transparente, des fenêtres performantes (double vitrage basse émissivité), un puits canadien, des matériaux à changement de phase (MCP), des stores opaques et l'isolation de la toiture.

Avant de présenter les moyens permettant de rafraîchir ou de chauffer un bâtiment de manière passive, il est nécessaire de rappeler les principes physiques et les actions qui le permettent. Il est tout d'abord nécessaire de revenir aux principes physiques qui régissent les transferts de chaleur.

4.3. Les principes d'amélioration thermique du bâtiment

4.3.1. Réduire les apports de chaleur pour le rafraîchissement et les apports de froid pour l'échauffement

Tout d'abord, en été, il est nécessaire de limiter les apports de chaleur, aussi bien les apports de chaleur internes qu'externes. Dans les bâtiments performants, les apports de chaleur sont difficiles à évacuer ; il est donc encore plus important de les limiter.

4.3.1.1. Apports internes

Les apports internes proviennent en premier lieu des habitants. Le métabolisme de ceux-ci est en effet une source d'apports de chaleur. Il est variable en fonction de l'activité de l'occupant. Les apports internes proviennent également des équipements électriques. La majeure partie de l'électricité consommée est rejetée sous forme de chaleur, à l'exception, par exemple, de l'énergie lumineuse d'une lampe. Il semble donc nécessaire d'adapter nos comportements vis-à-vis des équipements électriques et de privilégier des appareils performants afin de limiter les consommations.

Dans notre cas d'étude, nous avons remarqué que les classifications des appareils électriques ne prennent pas d'importance sur le marché syrien à cause du prix élevé de ceux-ci, sauf pour ce qui concerne les lampes, pour lesquelles nous avons trouvé un produit économe en énergie et peu cher (Atowfeer), que les ménages achètent donc couramment du fait de son prix accessible.

Malgré les efforts qui peuvent être réalisés, il est difficile de réduire significativement les apports internes de chaleur.

4.3.1.2. Apports externes

[113] C. Flory-Celini, thèse en modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant, *université Lyon 1*, 2008, p. 31.

Si les apports internes de chaleur sont difficiles à réduire, notre travail devra donc être focalisé sur la réduction des apports externes. Ces apports sont constitués par les apports solaires directs ou diffus qui pénètrent dans le bâtiment par les vitrages et les parois. Les apports solaires directs doivent être notamment limités au niveau des ouvertures. Les rayons du soleil qui arrivent sur le vitrage génèrent un effet de serre. Afin de limiter cet apport direct, on peut, d'une part, agir sur *le type de vitrage*, qui peut limiter la transmission des rayons lumineux.

D'autre part, *des protections solaires* doivent être mises en place afin d'éviter tout simplement cet effet de serre, malgré la persistance des apports diffus ; Au niveau des parois, un travail d'isolation peut également être réalisé pour limiter les apports par conduction à travers la paroi. Il faut également veiller à ne pas faire pénétrer l'air chaud de l'extérieur ; un travail sur les stratégies de ventilation est donc à réaliser. Une bonne étanchéité à l'air est également importante.

Ces apports sont donc des apports par rayonnement, combinés ensuite à de la convection à l'intérieur du bâtiment. Il faut donc limiter ce rayonnement. Les systèmes à mettre en œuvre pour ce faire sont donc :

a) un vitrage performant ;

b) une protection solaire : brise-soleil, masques architecturaux et stores ;

c) une isolation : l'isolation joue un rôle très important, notamment pour le confort d'hiver, car les pertes thermiques sont réduites. En été, l'isolation permet tout de même de diminuer les apports de chaleur par les parois, mais, pour cela, elle doit être mise en œuvre par l'extérieur et être couplée à la ventilation et bénéficier de l'effet d'inertie des parois. Si l'isolation est à l'intérieur du bâtiment, la chaleur peut entrer mais reste stockée dans les structures intérieures. L'isolation par l'extérieur limite également les ponts thermiques et permet d'utiliser l'inertie des murs.

4.3.2. Évacuer la chaleur pour le confort d'été

Comme nous avons pu le voir, des apports de chaleur dans le bâtiment sont inévitables, en premier lieu car un bâtiment a pour vocation d'être occupé, et que les occupants et leurs usages dégagent de la chaleur. Des solutions pour évacuer la chaleur sont alors à mettre en place. Une stratégie de ventilation semble assez adéquate pour répondre à ce besoin. Il est également nécessaire de ne pas apporter d'air chaud mais de l'air plus frais pour remplacer celui-ci, et de favoriser les échanges par convection.

4.4. Les choix de solutions bioclimatiques

Rappelons, en fonction du bâtiment étudié et des spécifications du site, les solutions possibles à appliquer sur notre site (cf. chapitre 3 § 4.3.2.) pour réduire les besoins énergétiques en climatisation l'été et en chauffage l'hiver), dans le but d'assurer le confort des occupants.

4.4.1. Pour la consommation en climatisation et le confort d'été

– Diminution des apports internes : par l'utilisation d'appareils électriques performants de classe A, par exemple. Cette solution reste toujours théorique pour les raisons liées au marché syrien, pour lequel nous avons remarqué que les produits électroménagers, informatiques et d'éclairage sont importés de Chine, où les classifications de performance ne sont pas toujours prises en compte.

- Dispositifs d'ombrage : l'énergie solaire pénètre dans les locaux au travers de vitres non protégées sous diverses formes, et surtout de manière directe. En été, nous pouvons utiliser certains dispositifs (brise-soleil, masques architecturaux et stores) pour empêcher la pénétration des rayons solaires.
- Ventilation nocturne : celle-ci peut être passive, par la mise en œuvre de concepts architecturaux intégrant l'environnement du bâtiment, son orientation par rapport au soleil et aux vents dominants, ou active, par une ventilation forcée la nuit pour évacuer l'air intérieur chaud et le remplacer par l'air extérieur frais. Il faut noter que ce principe fonctionne lorsque la différence de température entre le jour et la nuit est importante.
- Inertie : la mise en place d'une masse thermique permet de déphaser et d'amortir les apports de chaleur externe ; cette masse peut jouer un rôle d'accumulateur au cœur du bâtiment.
- Orientation des immeubles : la conception architecturale est très importante pour la recherche du vent et de l'ombre.

4.4.2. Pour le besoin en chauffage en hiver

- Orientation des immeubles : la conception architecturale est très importante pour la recherche du soleil et de la lumière.
- Fenêtres performantes : c'est un élément essentiel de l'approche passive des principes bioclimatiques, avec un rôle important aux niveaux énergétique et visuel.
- Isolation : ce système d'amélioration apporte des avantages pour l'hiver comme pour l'été s'il est placé à l'extérieur. En ce qui concerne l'hiver, l'isolation extérieure peut diminuer l'échange thermique et les déperditions de chaleur avec l'extérieur. En revanche, en été, l'isolation joue un rôle dans la diminution des apports de chaleur de l'extérieur par les parois. Idéalement, l'isolation extérieure empêche l'entrée de la chaleur extérieure par les parois.

4.5. Hypothèse concernant les solutions bioclimatiques retenues

Pour chacune des solutions bioclimatiques, nous allons présenter les hypothèses à mettre en place et leurs caractéristiques afin d'établir le modèle correspondant.

4.5.1. Dispositifs d'ombrage

Suite à plusieurs études portant sur les protections solaires et leur influence sur le bilan énergétique et la consommation énergétique d'un bâtiment, citons l'étude réalisée par ES-SO[114] et FFB[115] en 2012 (*La Protection solaire dans les bâtiments à basse consommation*), qui présente l'importance des stores pour l'efficacité énergétique des bâtiments. D'autres études, comme l'étude menée par B. Peuportier et S. Thiers en 2006 sous le titre *Des Écotechniques à l'écoconception des bâtiments*[116], montre l'importance des masques et des brises-soleil dans la réduction des besoins énergétiques et des apports solaires en été. Les protections solaires retenues dans notre étude sont : des masques intégrés horizontaux, des

---

114 European Solar-Shading Organization.

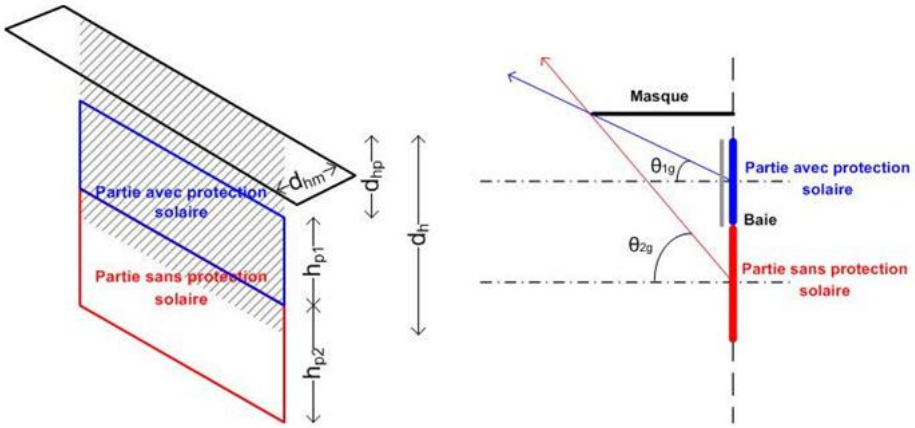
115 Fédération française du bâtiment.

116 Journée thématique SFT – IBPSA, rapport, 2006.

brise-soleil inclinés de 45° et des stores intérieurs comme des rideaux (stores enroulables intérieurs moyennement transparents, de teinte sombre). Le modèle de masque proche adopté est basé sur la réglementation thermique RT2005, qui permet de prendre en compte deux types de masques proches (vertical et horizontal).

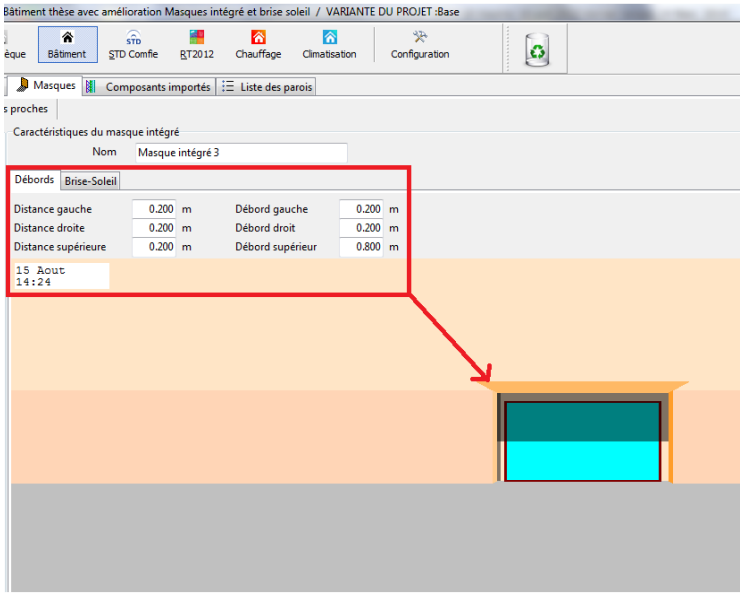
Les masques horizontaux sont choisis avec une largeur constante au-dessus des fenêtres pour provoquer une ombre à rayonnement direct qui est fonction de son azimut a et de sa hauteur h, par rapport au plan de l'ouverture. Dans l'analyse thermique dynamique, les affaiblissements des rayons solaires directs et diffus sont pris en compte. La figure 6.20 présente la hauteur du soleil (angle entre le soleil et l'horizon.

Figure 6.20 : Baie avec masque horizontal, masque proche horizontal



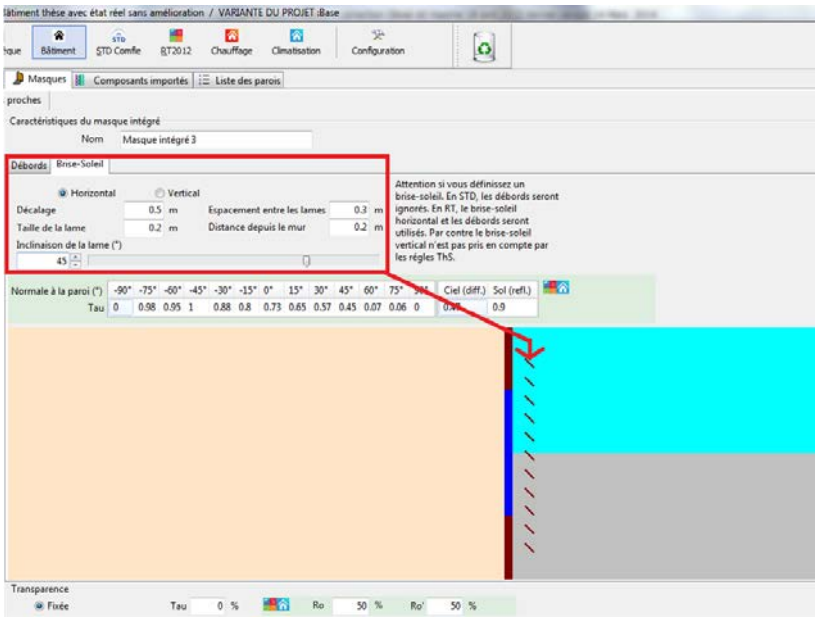
Dans l'annexe 1, nous montrerons l'ombre du masque intégré sur les fenêtres sud et nord pendant quelques heures de la journée du 15 août. Les calculs des masques horizontaux sont contenus dans le livre *Concevoir des bâtiments bioclimatiques*[117]. Les figures 6.21 et 6.22 montrent les masques intégrés et les brises-soleil retenus dans notre appartement de référence.

Figure 6.21 : Dimensions des masques intégrés retenus



[117] Pierre Fernandez, Pierre Lavigne, *Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondement & méthodes*, *Paris*, Le Moniteur, 2009, 244 p.

Figure 6.22 : Dimensions des brise-soleil retenus



4.5.2. Surventilation nocturne

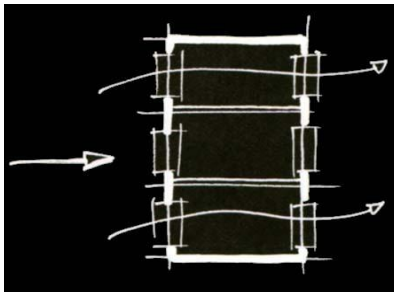
La ventilation des bâtiments répond à plusieurs exigences principales : la satisfaction des besoins d'hygiène et de confort des occupants, pour apporter de l'oxygène, éliminer les odeurs et les fumées, ainsi que le dioxyde et le monoxyde de carbone.

Dans le cadre du rafraîchissement passif, la ventilation est un principe majeur pour évacuer l'air chaud de l'intérieur de bâtiment et importer l'air frais de l'extérieur. Le mouvement d'air améliore en outre le confort physiologique par convection.

Plusieurs types de ventilation sont à étudier dans le cadre thermique du bâtiment : ventilation naturelle, mécanique simple flux, à double flux ou hybride entre ventilations naturelle et mécanique. Dans notre recherche et du fait de l'orientation de l'immeuble au sud et au nord, « directions où les vents sont dominants », nous allons étudier la ventilation naturelle assurée par la simple ouverture des fenêtres et des portes-fenêtres. La stratégie d'ouverture, définie pour chaque période pour les fenêtres et les portes-fenêtres donnant sur l'extérieur, offre une surventilation naturelle nocturne de 3 vol/h entre 22 heures et 8 heures, et, dans la journée, de 1 vol/h.

Ce système présente plusieurs avantages, notamment l'absence de coût énergétique et d'entretien, ainsi que son aspect silencieux, mais il exige une bonne conception du bâtiment, qui doit permettre un courant d'air traversant les fenêtres, lesquelles doivent être bien positionnées par rapport à la direction des vents dominants (voir figure 6.23).

Figure 6.23 : Principes de conception pour permettre une ventilation naturelle du bâtiment[118]



En ce qui concerne l'infiltration, nous pouvons remarquer que la qualité de l'étanchéité est médiocre, et nous avons considéré, pour un bâtiment existant, un débit de 0,4 vol/h.

La figure 6.24 montre le scénario choisi pour la ventilation naturelle (surventilation nocturne).

Figure 6.24 : Scénario de ventilation dans l'appartement de référence

Caractéristiques du scénario

Classe: Appartement Beirut

Nom: LOGEMENT Ventilation été 3 vol/h nocturne et 1v/h dans la journée

Complément:

Origine: Origine des caractéristiques

Type: % de ventilation

Débit nominal: 3.00 vol/h

Débit nominal: m³/h

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	100	100	100	100	100	100	100
1 H	100	100	100	100	100	100	100
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	100	100	100	100	100	100	100
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	100	100	100	100	100	100	100
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	100	100	100	100	100	100	100
8 H	33	33	33	33	33	33	33
9 H	33	33	33	33	33	33	33
10 H	33	33	33	33	33	33	33
11 H	33	33	33	33	33	33	33
12 H	33	33	33	33	33	33	33
13 H	33	33	33	33	33	33	33
14 H	33	33	33	33	33	33	33
15 H	33	33	33	33	33	33	33
16 H	33	33	33	33	33	33	33
17 H	33	33	33	33	33	33	33
18 H	33	33	33	33	33	33	33
19 H	33	33	33	33	33	33	33
20 H	33	33	33	33	33	33	33
21 H	33	33	33	33	33	33	33
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100
24 H							

Dans le cas où la conception du bâtiment ne permet pas de ventilation naturelle, la ventilation peut être mécanique, grâce à l'utilisation de ventilations simples, par exemple. Une solution hybride entre ventilation naturelle et mécanique peut aussi assurer la surventilation nocturne dans le cas où l'efficacité de la ventilation naturelle est faible.

Dans l'appartement de référence, nous avons identifié trois ventilateurs, dont les caractéristiques techniques figurent dans le tableau 6.8 :

[118] A. Chauvin, *Dissémination des principes de rafraîchissement passif nocturne à destination des architectes et des concepteurs*, Lyon, TFE de l'ENTPE, 2003, 86 p.

Tableau 6.8 : Caractéristiques techniques des ventilateurs de l'appartement de référence

	Volume d'air déplacé par minute Cmf	m^3/h
Ventilateur Hood cuisine	400	679,6
Ventilateur w.-c. principal	150	254,85
Ventilateur w.-c. invités	150	254,85
Volume total d'air déplacé par heure m^3/h		1 190

Si le volume total de l'appartement est de 335,5 m^3, la mise en marche des trois ventilateurs, dans le cas où la ventilation naturelle est faible, peut assurer la surventilation nocturne, avec une valeur de 3,35 v/h.

4.5.3. Inertie

L'inertie thermique, pour un matériau, est la capacité physique à conserver sa température ; pour un bâtiment, elle est recherchée afin de minimiser les apports thermiques nécessaires pour maintenir une température constante. La mise en place d'une masse thermique permet en effet de déphaser et d'amortir les apports de chaleur externe.

Pour quantifier l'inertie d'un matériau, plusieurs paramètres sont à préciser, notamment sa capacité à accumuler la chaleur (capacité thermique, densité élevée et forte masse volumique), et son contact direct avec l'air chaud pour stocker la chaleur, et donc la valeur effective du coefficient de transfert entre l'air et la paroi.

Pour augmenter l'inertie de notre bâtiment, nous allons remplacer les murs extérieurs par de nouveaux murs, avec des composants qui augmentent la masse surfacique (la faisant passer de 145 kg/m^2 à 722 kg/m^2) en gardant la résistance thermique R dans le même ordre de hauteur (de 0,16 à 0,21). Nous montrons ces détails dans le tableau 6.9.

Tableau 6.9 : Composition des murs extérieurs et intérieurs

Murs extérieurs						Murs intérieurs				
Composants	**Cm**	**Kg/m^2**	**λ**	**R**		**Composants**	**Cm**	**Kg/m^2**	**λ**	**R**
Enduit extérieur	1	17	1,15	0,01		**Enduit plâtre**	1,0	15	0,350	0,03
Béton lourd	30	690	1,750	0,17		**Béton lourd**	15,0	345	1,750	0,09
Enduit plâtre	1	15	0,35	0,03		**Enduit plâtre**	1,0	15	0.350	0,03
Total	32,0	722		0,21		**Total**	17,0	375		0,15

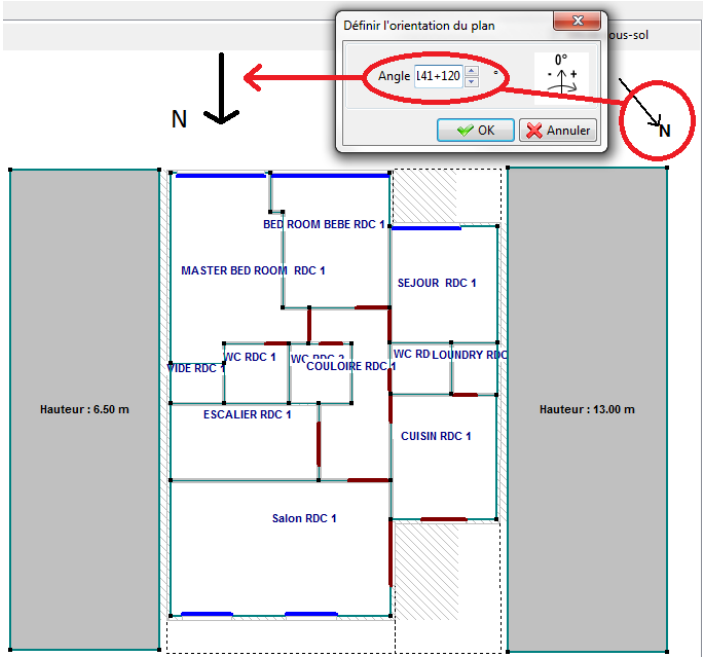
En ce qui concerne les planchers bas et haut, nous conservons les compositions existantes, car la masse surfacique est déjà élevée (602 kg/m^2).

4.5.4. Orientation de l'immeuble

C'est durant la phase d'APS, dans le projet, que l'architecte peut rechercher la meilleure orientation pour le bâtiment, afin de recevoir le maximum d'apport solaire et de lumière, dans le but de réduire le besoin en chauffage en hiver.

Ce système sera appliqué dans la modélisation en recherchant la meilleure orientation afin d'améliorer la valeur de l'indice Bbio et du C_{ep}. L'orientation choisie pour notre amélioration sera de 120°, qui se traduira par la non exposition directe au soleil (est et ouest). Notre bâtiment sera donc orienté nord et sud pour ses deux façades.

Figure 6.25 : Correction de l'orientation du bâtiment de référence



La figure 6.25 montre l'orientation de base (142°). Avec une orientation de 120°, les directions nord et sud feront face aux façades.

4.5.5. Fenêtres performantes

Nous allons remplacer les fenêtres à simple vitrage, sur le bâtiment existant, par des fenêtres performantes (fenêtres composées de double vitrage peu émissif, de type fenêtre 1 vantail, avec un facteur de clair de 0,7) valeur tabulée des règles Th-S ThL et ThU. Les caractéristiques de ces vitrages sont données dans le tableau suivant :

Tableau 6.10 : Caractéristiques des vitrages (simple et double)

Description	Dimensions (mm)	Uw ($W/m^2.K$) vertical/horizontal	Sg vitrage ($W/m^2.K$)	Ug vitrage vertical/horizontal ($W/m^2.K$)	Uf cadre ($W/m^2.K$)	Facture solaire Sw
Simple vitrage	4	5,617/6,503	0,86	5,74/6,94	5	0,855
Double vitrage argon	4/16/4	1,432/1,893	0,63	1,16/1,8	1,5	0,46

4.5.6. L'isolation

Plusieurs matériaux d'isolation existent sur le marché aujourd'hui, selon notre enquête sur site. Nous avons choisi quelques matériaux d'isolation qui se trouve facilement sur le marché syrien. Les matériaux d'isolation choisis dans notre étude sont les laines de bois pour les murs placés à l'extérieur, et le polystyrène expansé pour les toitures. La figure 6.27 illustre les caractéristiques de la paroi extérieure dans le module Comfie+Pleiades.

Figure 6.26 : Caractéristiques thermiques des parois extérieures

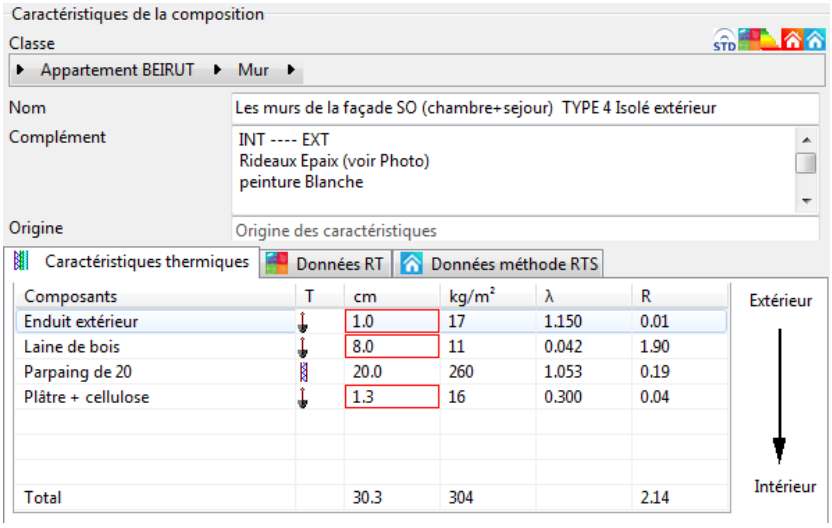
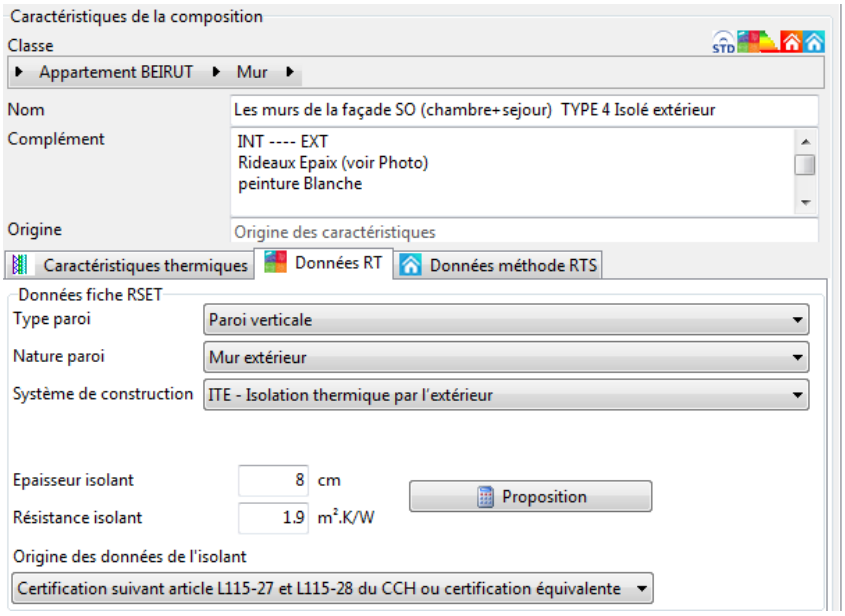


Figure 6.27 : Description de la paroi extérieur choisi RT2012



5. Évaluation du comportement thermique du bâtiment

Après avoir effectué la modélisation de chaque système d'amélioration choisi, nous allons analyser de façon approfondie les résultats observés. Dans un premier temps, nous allons présenter les courbes de température produites pour chaque système, puis, dans un deuxième temps, nous présenterons les valeurs des indices adoptés.

5.1. Résultats de la simulation saisonnière (hiver/été)

Comme nous l'avons déjà signalé, notre bâtiment est divisé en plusieurs zones thermiques (cf. chapitre 5 § 5.3., figure 5.27). Nous évaluons les résultats sur les deux zones (selon l'orientation, nord ou sud). L'analyse est effectuée durant deux périodes (la semaine la plus chaude de l'année et la semaine la plus froide). La zone nord choisie est le salon ; la zone sud, la chambre *Master bedroom*.

5.1.1. Comportement du bâtiment en été

La simulation est effectuée, premièrement, pendant la semaine la plus chaude de notre site. Il s'agit de la semaine 33 (du 13 août au 19 août 2013).

5.1.1.1. Zone thermique nord (salon)

Le choix de cette zone a pour but de caractériser l'effet des dispositifs d'ombrage situés sur une zone à faible exposition au soleil, par rapport aux autres systèmes proposés. Dans la figure 6.28, nous pouvons voir l'évolution de la température extérieure (premier graphe, en rouge) et celle de la température de référence sans système (en vert). Chacun des autres graphes montre la diminution de température intérieure selon le système appliqué.

Figure 6.28 : Évolution de la température selon les systèmes passifs (semaine 33, zone nord)

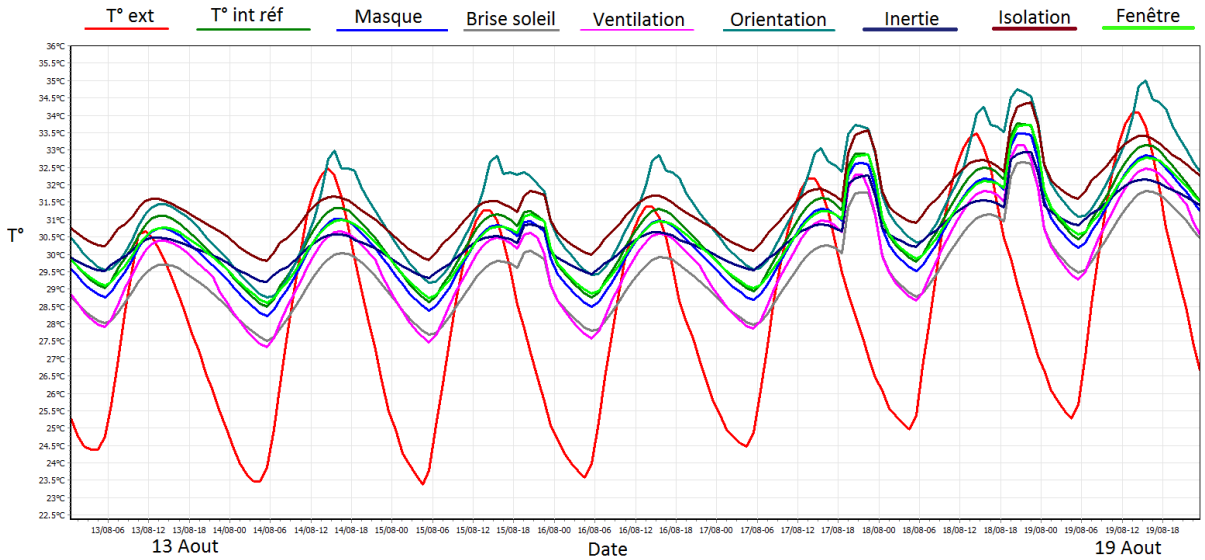
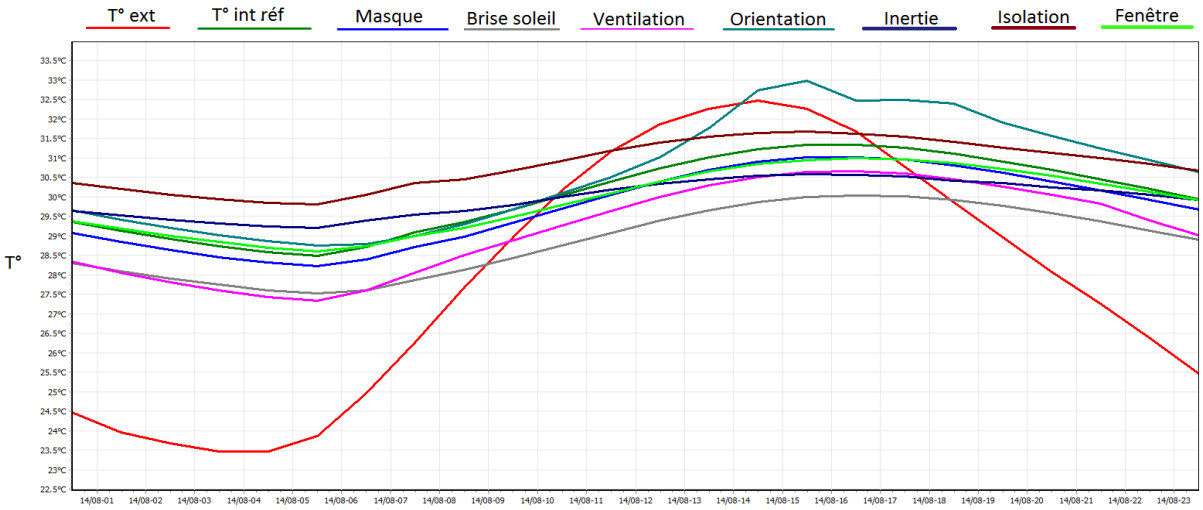


Figure 6.29 : Évolution de la température selon les systèmes passifs (journée du 14 août, zone nord)



L'observation de ces courbes montre que l'évolution de la température est très proche de celle de la température de référence, ce qui est normal dans le cas d'une amélioration passive.

Nous pouvons constater, sur cette figure, que l'effet moyen du système *masque intégré* est très faible, de l'ordre de 0,25 °C par rapport à la température de référence. Ce résultat est justifié du fait de l'orientation au nord, qui est caractérisée par un faible apport solaire direct. En ce qui concerne le *brise-soleil*, une diminution de température de 0,6 °C en moyenne est constatée. La *ventilation* nocturne montre une baisse importante de 0,6 °C dans la journée et de 1,6 °C la nuit, accompagnée d'une augmentation importante de l'amplitude de température. Le *système d'inertie* permet une diminution des amplitudes de température, ce qui se traduit par des températures maximales plus faibles (0,8 °C), mais également des températures minimales plus élevées (0,7 °C). De la même manière, les *fenêtres performantes* permettent de réaliser une diminution de la température maximale de l'ordre de 0,3 °C, et une augmentation des températures minimales de 0,1 °C.

Au contraire des systèmes précédents, *l'isolation extérieure* augmente la température intérieure dans la journée de 0,3 °C, et, dans la nuit, de 1,3 °C en moyenne, ce qui traduit la conservation de la chaleur à l'intérieur. Malgré l'effet qu'a l'isolation de diminuer les apports solaires et de chaleur extérieure, la conservation de la chaleur à l'intérieur a un impact fort qui explique cet effet négatif.

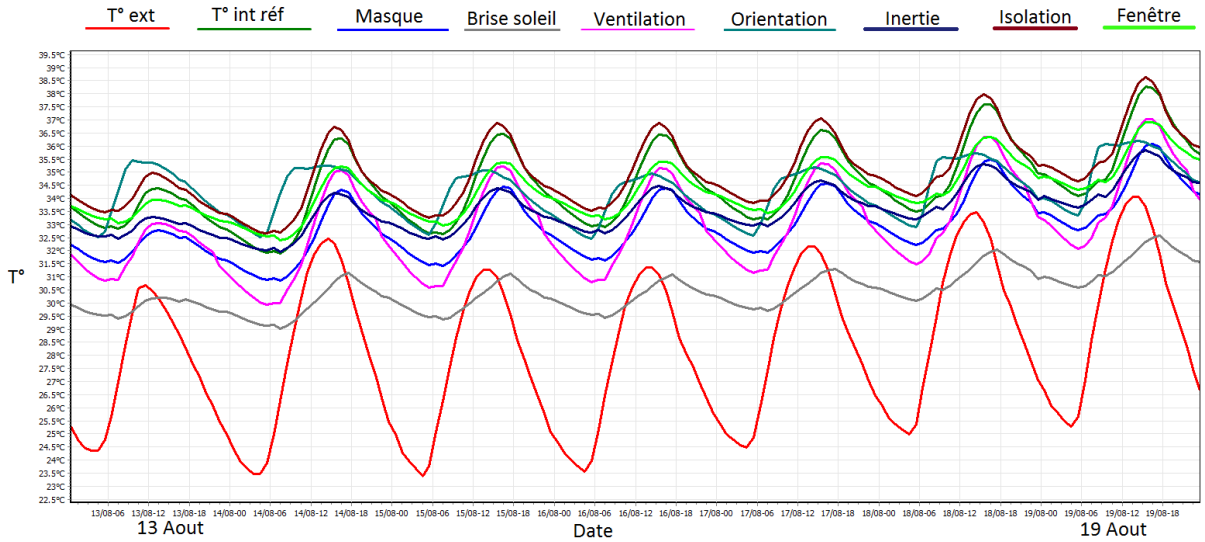
L'effet négatif de *l'orientation*, en augmentant la température en journée comme de nuit, traduit la nouvelle orientation de cette zone vers le sud, ce qui induit donc des apports solaires plus importants que ceux obtenus avec son orientation d'origine.

Même si tous les systèmes permettent une diminution de la température (à l'exception de l'isolation et de l'orientation), celle-ci reste toujours plus élevée que la température de confort (27 °C°). Il y a donc nécessité d'appliquer des couplages entre les systèmes.

5.1.1.2. Zone thermique sud (*Master bedroom*)

Nous allons présenter les courbes de température dans la chambre la plus exposée au soleil du fait de son orientation. Les mêmes systèmes sont appliqués pour déterminer l'évolution des températures.

Figure 6.30 : Évolutions de la température selon les systèmes passifs (semaine 33, zone sud)



Comme dans la zone nord, l'évolution de la température est très proche de celle de la température de référence, ce qui est normal dans l'amélioration passive.

En ce qui concerne l'efficacité de chaque système, nous pouvons remarquer que le système de *ventilation nocturne* présente une efficacité remarquable en matière de baisse de température, de 1,3 °C pendant l'heure la plus chaude et de 1,9 °C durant la nuit. Ce résultat montre l'effet de l'évacuation de la chaleur nocturne dans la journée. La courbe de température avec le *brise-soleil* montre une meilleure efficacité en diminution de température, avec une moyenne d'abaissement de 4,8 °C dans la journée et de 3,5 °C la nuit. Ce résultat traduit le rôle du brise-soleil, qui diminue les apports solaires directs et les réfléchit dans le ciel en journée, et diminue la chaleur provenant de l'extérieur durant la nuit. Alors que le système de brise-soleil agissant sur les apports solaires présente une efficacité très forte, le système de *masques intégrés* est moins efficace, puisqu'il présente une baisse moyenne de température de 2 °C durant la journée et de 1 °C pendant la nuit. L'abaissement des apports solaires directs obtenu par le changement de *l'orientation* du sud vers le nord est de 2 °C en journée, plus important que la baisse en nuit, qui est marginale. Le *système d'inertie* permet une diminution des amplitudes de température, ce qui se traduit par des températures maximales plus faibles de 2 °C, mais également des températures minimales moins élevées de 0,6 °C). L'influence du facteur solaire des vitrages (FS) s'exprime dans l'abaissement de la température maximum, en moyenne de (1 °C). Par contre, l'effet d'isolation des fenêtres performantes augmente la température moyenne de nuit de l'ordre de 0,5 °C.

Le système d'*isolation externe* joue un rôle négatif, qui se traduit par des températures maximales plus élevées de 0,4 °C, mais également des températures minimales plus élevées de 0,8 °C.

L'analyse des températures dans la zone sud montre que c'est le système de brise-soleil qui a la plus grande efficacité. Par contre, le système d'isolation externe joue un rôle négatif, mais son couplage avec d'autres systèmes devrait nous permettre de mieux cerner son fonctionnement et l'action qu'il peut avoir sur le confort d'été.

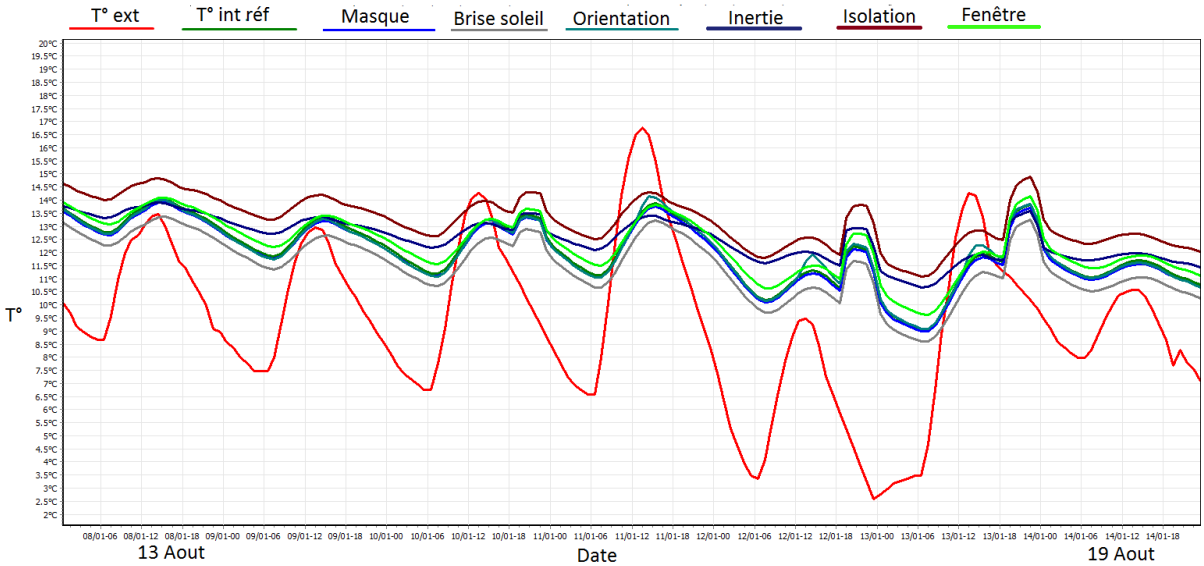
5.1.2. Comportement du bâtiment en hiver

Après avoir effectué des simulations sur la période la plus chaude en appliquant des systèmes passifs, nous allons effectuer la simulation sur la période la plus froide, en appliquant les mêmes solutions passives choisies (à l'exception de la surventilation nocturne), afin d'analyser leurs effets sur la bâtiment en période d' hiver. La simulation est effectuée pendant la semaine la plus froide de notre site (semaine 2, du 8 janvier 2014 au 14 janvier 2014).

5.1.2.1. Zone thermique nord (salon)

La zone nord est la zone la moins exposée au soleil et donc la plus froide de l'appartement, en hiver comme en été. Si, durant la période de chaleur, certains systèmes avaient bien réagi en abaissant la température (brise-soleil, ventilation et inertie), d'autres systèmes avaient présenté des conséquences négatives, comme l'isolation externe et l'orientation. Nous montrons, dans la figure 6.31, les résultats des simulation de température pour chacun des systèmes dans la zone nord pour la période froide (semaine 2).

Figure 6.31 : Évolutions de la température selon les systèmes passifs (semaine 2, zone nord)

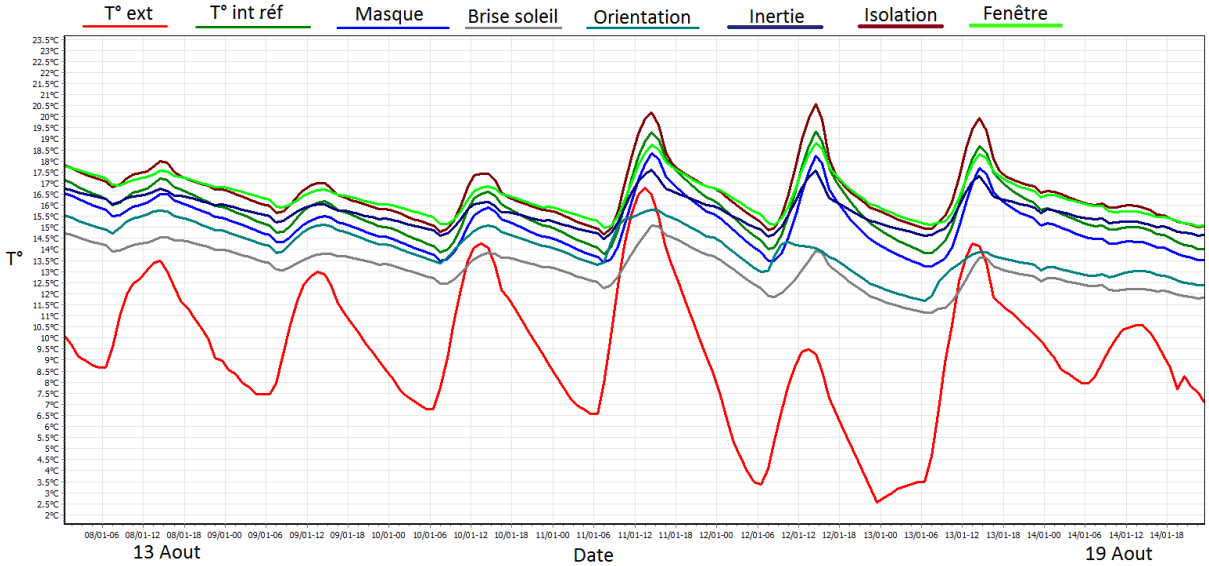


Des effets similaires sont obtenus avec les systèmes *brise soleil* et *masque* intégré avec une baisse moyenne en température de 0,45 °C et 0,1 °C respectivement. Contrairement aux résultats obtenus pour l'été, la courbe d'*isolation* donne un meilleur résultat, en augmentant la température en moyenne de 1,25 °C durant la journée et de 0,9 °C durant la nuit. La diminution des amplitudes de température, qui a pour origine le phénomène de déphasage, caractérise la courbe de température du *système d'inertie*, avec une augmentation de la température dans la nuit de 0,7 °C en moyenne. L'augmentation de la température pendant la nuit de 0,5 °C due aux *fenêtres performantes* traduit les caractéristiques d'isolation de ces dernières. Par contre, cette augmentation devient marginale dans la journée (0,1 °C), du fait de l'augmentation du facteur solaire de ces vitrages SW.

5.1.2.2. Zone thermique sud (*Master bedroom*)

Comme nous l'avons observé pour la période d'été pour la zone exposée au soleil, certaines solutions apportent une baisse en température remarquable (brise-soleil, masque intégré, inertie, ventilation et orientation), tandis que d'autres réagissent en augmentant la température (isolation). Nous allons présenter, dans la figure 6.32, les courbes de température de chaque système techniques.

Figure 6.32 : Évolutions de la température selon les systèmes passifs (semaine 2, zone sud)



Le système ayant le plus d'effet positif en hiver est le système d'*isolation*, avec une augmentation de 1 °C en moyenne durant la journée comme durant la nuit. Les *fenêtres performantes* augmentent aussi la température de 1,1 °C en moyenne durant la nuit, grâce à leur effet d'isolation ; par contre, l'augmentation du facteur Sw (FS) a plus d'influence sur la période d'été que d'hiver. *L'inertie* continue de jouer son rôle en diminuant l'amplitude de la température par le phénomène de déphasage, avec une baisse de la température maximum de 1,2 °C en moyenne, et une augmentation de la température minimum de 0,4 °C en moyenne.

Le brise-soleil permet de baisser la température de 4,3 °C en journée et de 2,2 °C la nuit, ce qui nous semble logique, du fait qu'il empêche les rayons solaires directs de pénétrer. *L'orientation*, dans notre cas, a un effet négatif car l'exposition au soleil direct est minimale au nord. Le *masque intégré* agit en abaissant la température dans la journée de 0,9 °C en moyenne, et de 0,5 °C durant la nuit.

5.2. Analyse des températures maximum et moyenne dans une semaine d'été

Il est intéressant de regarder les variations des températures maximum et moyenne induites par chaque système, et de les comparer avec les températures maximum/moyenne de référence durant la période estivale.

Tableau 6.11 : Analyse des températures maximum et moyenne pour chaque système d'amélioration pendant la semaine la plus chaude de l'été

Système $T_{max/moy}$	$T°_{réf}$	Brise -soleil	Masque intégré	Ventilation nocturne été	Inertie	Orientation	Fenêtres performantes	Isolation
T°max *Master bedroom*	38,28	32,57	36,09	37,04	35,83	36,19	36,91	38,64
T°max salon	33,76	32,65	33,48	33,15	32,95	35	33,72	34,37
T°max *appartement*	36,26	32,22	34,23	35,2	34,75	35,89	35,83	36,99
$\Delta T_{max-Appartement}$		4,04	2,03	1,06	1,51	0,37	0,43	-0,73
T°moy *Master bedroom*	34,51	30,42	32,96	32,97	33,56	34,28	34,29	34,98
T°moy salon	30,68	29,5	30,38	29,83	30,52	31,39	30,54	31,42
T°moy *appartement*	32,94	30,52	32,14	31,6	32,37	33,18	32,91	33,75
$\Delta T_{moy-Appartement}$		2,42	0,8	1,34	0,57	-0,24	0,03	-0,81

La température maximum est un paramètre important pour évaluer l'action de chaque système en heure chaude. Nous pouvons observer, dans le tableau 6.11, que l'abaissement maximal des systèmes *brise-soleil*, *masques intégrés*, *fenêtres performantes* et *orientation* est plus important que l'abaissement moyen, car c'est la base de leur fonctionnement de diminuer les apports solaires. Le système de *ventilation* montre deux valeurs proches de l'abaissement maximal et moyen, ce qui traduit l'amplification de la température par rapport à la température de référence.

L'amplification observée pour le système *d'inertie* traduit une valeur plus importante de l'abaissement maximal par rapport à l'abaissement moyen.

La réduction en apports solaires directs réalisée par les *fenêtres performantes*, en améliorant le coefficient Sw, se traduit par une réduction en température maximale dans la journée, mais le rôle des fenêtres performantes reste marginal en matière d'abaissement de la température moyenne.

Le système *d'isolation* présente un effet négatif par l'augmentation en températures moyenne et maximale. Nous pouvons expliquer ce comportement par le phénomène de « bouteille thermos » , c'est-à-dire par la présence d'une résistance à l'évacuation des chaleurs internes qui est plus importante que la réduction des apports solaires opérés par ce système.

6. Évaluation des indices de performance pour les différents systèmes techniques

Notre étude a pour but de mettre en place un label énergétique pour un site EM. Nous rappelons que les indices adoptés dans notre procédure énergétique sont au nombre de trois :

- le Bbio pour le besoin bioclimatique ;
- le C_{ep} pour la consommation d'énergie primaire ;
- l'IPS pour le confort d'été.

Les valeurs des résultats correspondant à chaque système d'amélioration sont détaillées aux paragraphes suivants.

6.1. Sur le confort d'été

Les courbes de température de chaque système utilisé ont permis de mettre en avant quelques caractéristiques de leur action. Nous allons analyser les valeurs obtenues par chacun et rechercher un nouveau critère en nous basant sur l'indice IPS d'évaluation du confort d'été, afin d'obtenir davantage d'informations sur le comportement que ces systèmes peuvent engendrer.

Rappelons que l'indice de performance de chaque système est défini par la relation suivante :

$$IPS = \Sigma \frac{T°réf - T°sys}{T°réf - 27°C}$$

Rappelons en outre que les valeurs des températures utilisées dans le calcul de cet indice concernent une température moyenne, et que cet indice montre la performance de chaque système en matière d'abaissement de la température.

6.1.1. Zone nord

Tableau 6.12 : Valeurs de l'IPS correspondant à chaque système d'amélioration (zone nord, semaine 33)

Système / Indice	Brise-soleil	Masque intégré	Ventilation nocturne été	Inertie	Orientation	Fenêtres performantes	Isolation
$T°_{réf}$	30,68	30,68	30,68	30,68	30,68	30,68	30,68
$T°_{système}$	29,4	30,38	29,83	30,52	31,39	30,54	31,42
$T°_{confort}$	27	27	27	27	27	27	27
$IPS_{moyenne}$	0,38	0,08	0,23	0,05	-0,71	0,04	-0,2

Le tableau 6.12 montre les performances de chaque système dans la zone nord, donc la zone qui reçoit le minimum d'apport solaire. L'observation montre que le système de brise-soleil est plus performant que les autres systèmes, avec une performance positive des masques intégrés, de l'inertie et de la ventilation. Malgré l'abaissement remarquable en température maximale, la performance du système d'inertie, en température moyenne, reste marginale, et l'isolation joue toujours un rôle négatif. Ces résultats montrent la nécessité de mettre en place un système pour évacuer la chaleur interne qui accompagne les systèmes d'inertie et d'isolation ; un couplage entre les systèmes sera donc nécessaire.

6.1.2. Zone sud

Tableau 6.13 : Valeurs de l'IPS correspondant à chaque système d'amélioration (zone sud, semaine 33)

Système / Indice	Brise-soleil	Masque intégré	Ventilation nocturne été	Inertie	Orientation	Fenêtres performantes	Isolation
$T°_{réf}$	34,51	34,51	34,51	34,51	34,51	34,51	34,51
$T°_{système}$	30,42	32,96	32,97	33,56	34,28	34,29	34,98
$T°_{confort}$	27	27	27	27	27	27	27
$IPS_{moyenne}$	0,55	0,21	0,21	0,13	0,03	0,03	-0,06

La zone sud est la zone qui reçoit les maxima en apport solaire, c'est donc ici logiquement que le brise-soleil montre la performance la plus importante. Le masque intégré et la ventilation donnent aussi de bons résultats. L'orientation montre une performance positive, au contraire de sa valeur dans la zone nord : ceci traduit la réduction des apports solaires reçus dans cette façade. L'isolation garde la même valeur négative, ce qui implique un même fonctionnement dans les deux zones, et l'inertie montre un rôle plus important que dans la zone nord, du fait de variations de température plus importantes.

Nous avons analysé les courbes de température avec les variations de l'indice IPS pour deux zones dans l'appartement (nord et sud). Nous allons à présent chercher les valeurs de l'indice IPS pour l'appartement, et nous les présenterons dans le tableau 6.14.

6.1.3. Appartement

Tableau 6.14 : Valeurs de l'IPS correspondant à chaque système d'amélioration (appartement, semaine 33)

Système / Indice	Brise-soleil	Masque intégré	Ventilation nocturne été	Inertie	Orientation	Fenêtres performantes	Isolation
$T°_{réf}$	32,94	32,94	32,94	32,94	32,94	32,94	32,94
$T°_{système}$	30,52	32,14	31,60	32,37	33,18	32,91	33,75
$T°_{confort}$	27	27	27	27	27	27	27
$IPS_{moyenne}$	0,41	0,14	0,23	0,1	0,04	0,006	-0,13

L'observation de ce tableau montre que la meilleure performance est celle du système de brise-soleil, puis de la ventilation, des masques intégrés, de l'inertie et, enfin, de l'orientation. Nous constatons une performance négative pour le système d'isolation, avec un effet marginal des fenêtres performantes.

6.2. Sur le besoin bioclimatique et la consommation énergétique

Nous avons vu la pertinence de l'indice IPS pour le confort en été. Il sera donc nécessaire de chercher d'autres mesures pour évaluer les besoins bioclimatiques et les consommations énergétiques en été comme en hiver. Pour cette raison, nous allons mettre en place deux indices ($B_{cc\,\%}$ et $B_{fc\,\%}$), qui expriment la contribution des systèmes d'amélioration adoptés en besoins et en consommations énergétiques de chauffage et de climatisation. Le jugement sur les systèmes en matière de rentabilité sera effectué à l'aide d'un autre nouveau critère ($I_{éco}$), que nous allons définir par la suite.

6.2.1. Performances des systèmes sur la base des indices $B_{cc\,\%}$, $B_{fc\,\%}$

Nous avons vu les réactions de la température intérieure dans notre appartement de référence selon chaque système d'amélioration. Certains systèmes sont bénéfiques en termes de performance en été (brise-soleil, masques intégrés, ventilation, inertie et orientation), par contre d'autres systèmes présentent des réactions négatives pour la performance de rafraîchissement. Comme il nous semble nécessaire de trouver la contribution de chaque système en termes de besoins (climatisation et chauffage), nous allons chercher d'autres critères qui expriment ces contributions dans le but de mieux évaluer les systèmes d'amélioration. Les deux nouveaux critères retenus sont :

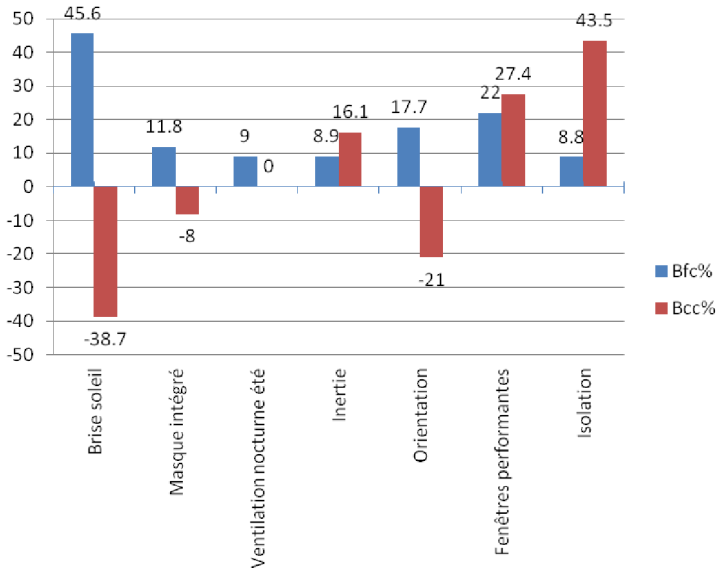
- le besoin en chauffage couvert par le système % ($B_{cc\,\%}$) ;
- le besoin en froid couvert par le système % ($B_{fc\,\%}$).

Ces deux critères vont nous aider à déterminer l'efficacité de chaque système en pourcentage couvert. Il convient de noter que si la valeur de ces indices est négative, cela indique que le système augmente le besoin (soit en chauffage ou en climatisation) ; s'il est positif, cela veut dire que le système abaisse le besoin. Les résultats de ces indices sont présentés dans le tableau 6.15 et la figure 6.33.

Tableau 6.15 : Valeurs des indices $B_{cc\,\%}$ et $B_{fc\,\%}$ en fonction des systèmes d'amélioration (sur un an)

Système / Indice	Bâtiment référence	Brise-soleil	Masque intégré	Ventilation nocturne été	Inertie	Orientation	Fenêtres performantes	Isolation
$B_{chauffage}$	62	86	67	62	52	75	45	35
B_{froide}	68	37	60	62	62	55	53	62
$B_{cc\,\%}$	-	-38,7	-8	0	16,1	-21	27,4	43,5
$B_{fc\,\%}$	-	45,6	11,8	9	8,9	17,7	22	8,8

Figure 6.33 : Valeurs des indices $B_{cc\,\%}$ et $B_{fc\,\%}$ selon les systèmes d'amélioration (sur un an)



Nous pouvons noter que le système qui couvre le mieux les besoins en froid est celui du *brise-soleil* couverture du besoin de 45,6 %. Par contre, ce système augmente le besoin en chauffage de 38,7 %. Les systèmes gérant les apports solaires, comme le *masque intégré*, montrent le même comportement, mais pour des valeurs moindres (couverture du besoin de climatisation de 11,8 % et augmentation du besoin en chauffage de 8 %). Par contre, le système de *fenêtres performantes* agit positivement, comme l'inertie, en présentant une réduction en besoin de chauffage comme en climatisation de l'ordre de 27,4 % et 22 %, et de 16,1 % et 8,9 % respectivement.

Comme nous l'avons signalé auparavant, le système de *surventilation nocturne* ne marche qu'en saison estivale, donc sa contribution, en matière de couverture des besoins, n'a d'effet qu'en été (couverture de la climatisation de l'ordre de 9 %). *L'isolation* montre un besoin en chauffage couvert à 47 %, avec une couverture faible du besoin de climatisation, de l'ordre de 8,8 %.

Malgré la réaction négative du système *d'isolation* pendant la semaine la plus chaude (augmentation de la température de l'appartement), la simulation dynamique montre que son rôle est légèrement positif sur toute la saison d'été. Ceci s'explique par les jours d'été où l'augmentation de la température dans l'appartement provient de l'effet de la transmission de chaleur ayant pour origine l'irradiation des rayons solaires directs ou non directs sur l'enveloppe de l'appartement.

Les conclusions tirées de l'analyse des résultats de ces deux critères montrent des différences par rapport à l'analyse des résultats de l'IPS. Ceci s'explique par le fait que les critères $B_{cc\,\%}$ et $B_{fc\,\%}$ sont calculés pour une durée d'un an, alors que l'IPS a été calculé pour la seule semaine la plus chaude. Or le comportement de certains systèmes, comme l'isolation, devient positif dans une période où les températures extérieures sont modérées.

6.2.2. Performances des systèmes sur la base de l'indice $I_{éco}$

Les résultats des critères $B_{cc\,\%}$ et $B_{fc\,\%}$, et les différentes consommations en énergie pour produire le chaud et le froid dans notre site d'étude montrent la nécessité de chercher la rentabilité et la pertinence de chacun des systèmes. Un nouveau critère va donc nous aider à juger chaque système en termes de rentabilité en valeur de consommation (chauffage et climatisation).

La consommation en chauffage et en climatisation est calculée par Comfie+Pleiades en kWh_{EF}. Le vecteur énergétique à utiliser, pour effectuer la comparaison en énergie primaire en Syrie, est 1 kWh_{EF} = 2,97 kWh_{Ep} (cf. chapitre 1 § 5.4.).

La logique de la mise en place de l'indice $I_{éco}$ est basée sur les comparaisons suivantes :

- Si un système génère une augmentation d'un poste de consommation (chauffage ou climatisation) plus importante que la réduction de l'autre poste de consommation (chauffage ou climatisation), nous pouvons éliminer ce système, car il n'est pas économe.
- Si un système génère une augmentation d'un poste de consommation (chauffage ou climatisation) plus faible que la réduction de l'autre poste de consommation (chauffage ou climatisation), nous pouvons retenir ce système, car il est économe.

Nous pouvons donc exprimer l'indice $I_{éco}$ dans la relation suivant :

$$I_{éco} = (Cep_{chauffage\text{-}Réf} - Cep_{chauffage\text{-}Sys}) + (Cep_{froide\text{-}Réf} - Cep_{froide\text{-}Sys})$$

Si $I_{éco} > 0$ Système économe (retenu)

Si $I_{éco} < 0$ Système pas économe (à éliminer)

Tableau 6.16 : Valeurs de l'indice $I_{éco}$ selon chaque système d'amélioration

Système / Indice	Bâtiment référence	Brise-soleil	Masque intégré	Ventilation nocturne été	Inertie	Orientation	Fenêtres performantes	Isolation
$C_{ep\text{-}chauffage}$	139,6	193,34	149,3	139,6	116,2	167,8	101,2	78,8
$C_{ep\text{-}froide}$	74,6	49,6	64,9	69,8	70,5	65	62,7	65
$I_{éco}$	-	-28,74	0	4,8	27,5	-18,6	50,3	70,4
Jugement	**-**	**Éliminé**	**?**	**Retenue**	**Retenue**	**Éliminé**	**Retenue**	**Retenue**

L'observation de ce tableau montre que les systèmes isolation, fenêtres performantes, inertie, et ventilation nocturne sont économes en termes de consommation énergétique. Par contre, le système de brise-soleil réalise une augmentation remarquable en consommation énergétique de chauffage. Cependant, la baisse importante en climatisation et l'abaissement de la température dans la saison d'été montrent l'importance de ce système. Pour ces raisons, nous allons adopter ce système en mode mobile, c'est-à-dire qu'il sera présent en été et absent l'hiver.

Le système de masque intégré ne produit pas de changement du résultat de la consommation en hiver et en été, mais l'abaissement de la température en saison d'été justifie son existence.

En ce qui concerne l'orientation, le cas de notre appartement présente une orientation idéale, donc nous allons conserver la même orientation que celle d'origine.

Ce résultat permet de valider les choix en systèmes d'amélioration vis-à-vis de l'économie en consommations énergétiques.

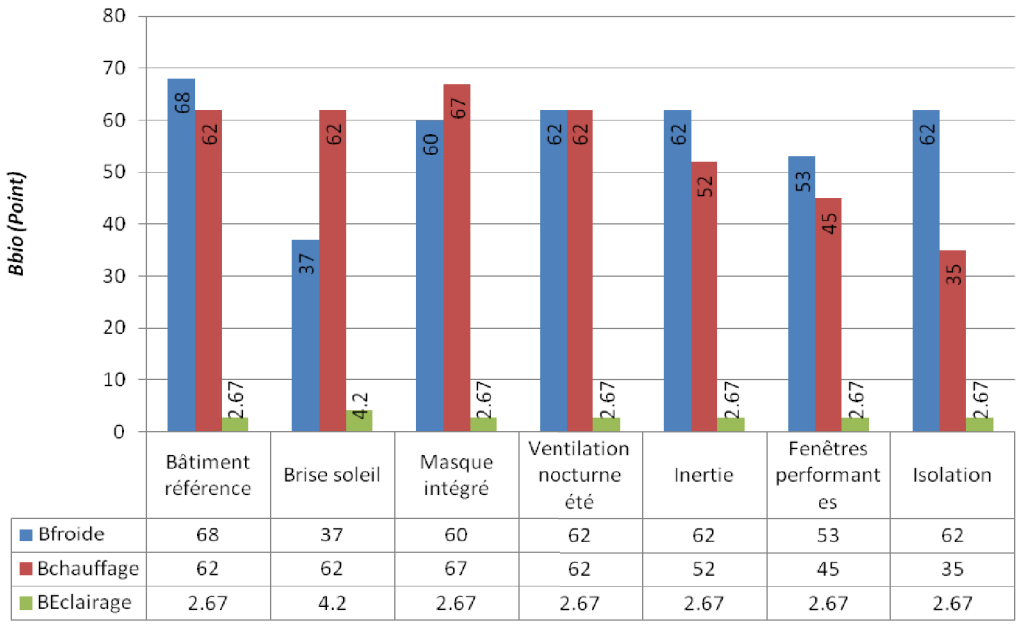
Ces résultats nous semblent logiques en termes d'énergie primaire, pour la raison suivante. Les systèmes de chauffage utilisés sur le site sont des radiateurs électriques, qui ont des rendements, en termes de conversion entre électricité utilisée et chaleur produite de 1. Par contre, les systèmes de climatisation utilisés sur le site ont un coefficient de rendement COP = 2,7 . Ainsi, même si le système brise-soleil réalise une baisse du besoin en climatisation ($B_{fc\,\%}$= 45,6%) plus importante que l'augmentation en besoin de chauffage ($B_{cc\,\%}$=38,7%), les consommations en énergie primaire augmentent au cas de référence ce qui rend cette solution technique inadaptée.

Nous retenons les solutions techniques qui présentent un I positif. Il convient de revenir aux indices de la RT2012 ($C_{ep\ bât}$ et $B_{bio\ bât}$) pour analyser leur valeur.

6.2.3. Résultats des systèmes sur les indices réglementaires $Bbio_{bât}$ et $C_{ep\ bât}$

Nous allons à présent analyser les variations en valeurs des indices adoptés ($C_{ep\ bât}$, $Bbio_{bât}$) selon chaque système dans l'appartement de référence :

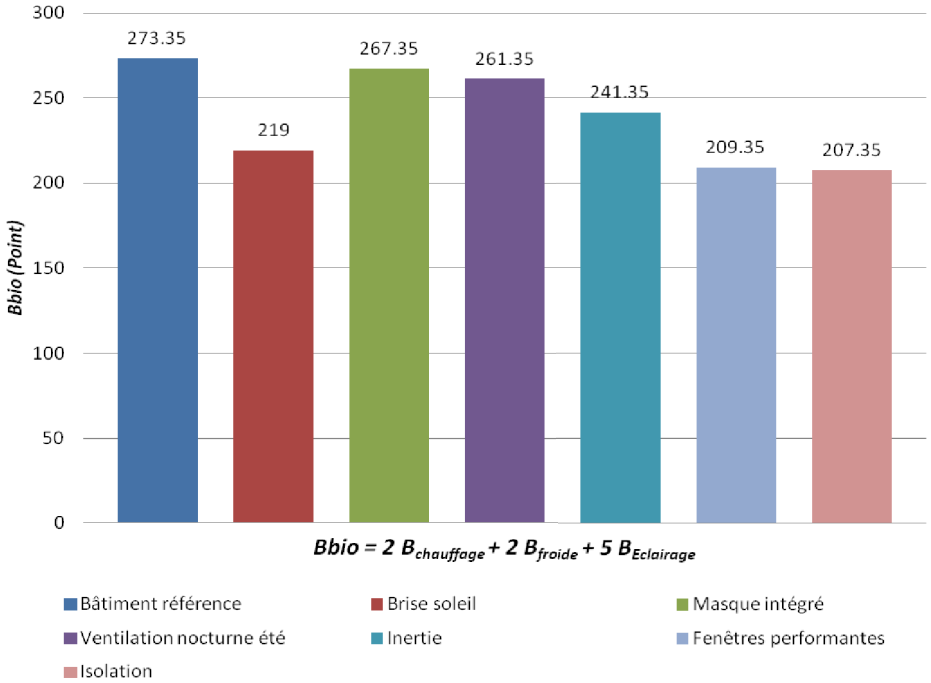
Figure 6.34 : Besoins annulés en énergie pour les postes chauffage, climatisation et éclairage en kWh/m²SHON pour chaque système d'amélioration



Ce graphique montre les besoins annuels en chaleur, froid et éclairage de l' appartement de référence en kWh/m^{2}SHON. Ces éléments sont nécessaires pour calculer l'indice $Bbio_{bât}$. Nous pouvons observer que les différentes valeurs en besoins de chauffage, climatisation et éclairage sont en cohérence avec le comportement de chaque système et les valeurs des $Bbio_{bât}$ sont présentées dans la figure 6.35.

Notons que le calcul des composants de l'indice $Bbio_{bât}$ ($B_{chauffage}$, B_{froide} et $B_{éclairage}$) s'effectue avec des systèmes de chauffage et de climatisation qui correspondent aux équipements et aux systèmes du site.

Figure 6.35 : Valeurs de l'indice $Bbio_{bât}$ pour chaque système d'amélioration

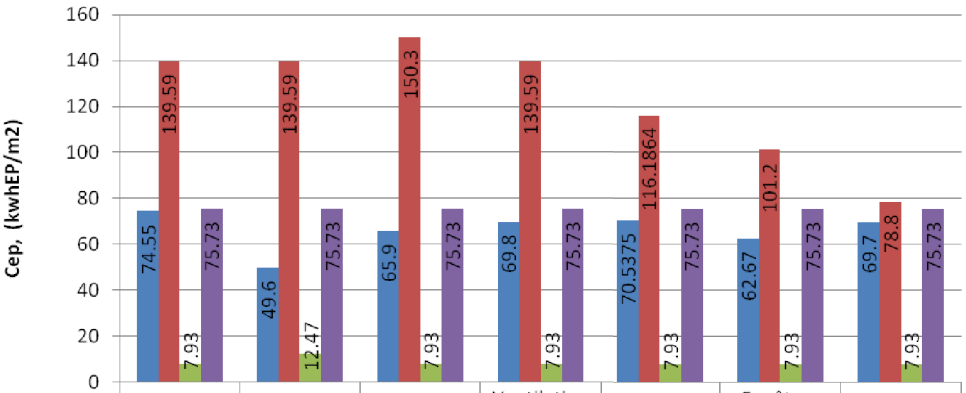


En comparant les résultats de $Bbio_{bât}$ de l'appartement de référence avec les autres résultats des systèmes, on peut constater que les meilleures réductions sont réalisées par l'isolation et les fenêtres performantes, avec une réduction en valeur de $Bbio_{bât}$ de l'ordre de 24 %. Le brise-soleil mobile prend la deuxième place (mais pour l'été seulement) avec une réduction de 20 %. L'inertie montre une réduction de 11,8 %, et la ventilation de 4,5 %. Enfin, le masque intégré réalise une réduction de l'ordre de 2,2 %.

La comparaison entre les résultats de $Bbio_{bât}$ et les résultats de l'indice $I_{éco}$, présentés dans le tableau 6.16, montre une cohérence entre ces valeurs. Nous allons donc adopter cet indice de $Bbio_{bât}$ afin d'élaborer notre procédure énergétique.

En ce qui concerne l'indice C_{ep}, les figures 6.36 et 6.37 montrent les consommations énergétiques en énergie primaire pour chaque poste (chauffage, climatisation, éclairage, ECS). Nous rappelons que le vecteur énergétique de l'électricité en Syrie est de 2,97.

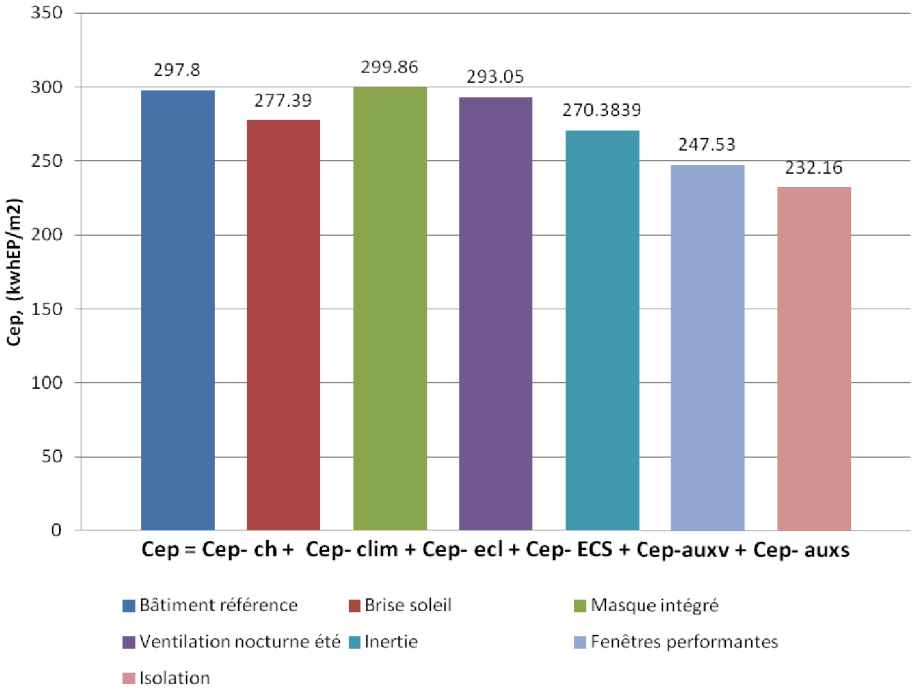
Figure 6.36 : Consommations annulles en énergie primaire pour les postes chauffage, climatisation, éclairage et ECS en kwh_{EP}/m^2 pour chaque système d'amélioration



	Bâtiment référence	Brise soleil	Masque intégré	Ventilation nocturne été	Inertie	Fenêtres performantes	Isolation
Cep- clim	74.55	49.6	65.9	69.8	70.5375	62.67	69.7
Cep- ch	139.59	139.59	150.3	139.59	116.1864	101.2	78.8
Cep- ecl	7.93	12.47	7.93	7.93	7.93	7.93	7.93
Cep- ECS	75.73	75.73	75.73	75.73	75.73	75.73	75.73

Ce graphique montre l'énergie primaire consommée pour les différents postes sur une année pour chaque mètre carré de notre appartement de référence en (kwh_{EP}/m^2). Ces valeurs de consommation par poste sont nécessaires pour calculer l'indice $C_{ep\ bât}$, qui est illustré dans la figure 6.37.

Figure 6.37 : Valeurs de l'indice $C_{ep\ bât}$ pour chaque système d'amélioration



Si nous comparons les résultats de l'indice $C_{ep\ bât}$, nous pouvons constater que la meilleure économie en consommation énergétique est réalisée par le système d'isolation, avec une réduction de 22 %. Les systèmes de fenêtres performantes, de ventilation nocturne en été et de brise-soleil mobile (présent en été uniquement) permettent une réduction de 17 %, 1,6 % et 6,8 %, respectivement. Par contre, le masque intégré ne produit pas de changement important au niveau de la consommation énergétique globale.

6.3. Synthèse des résultats

Nous résumons les résultats de nos calculs des indices IPR, $Bbio_{bât}$ et C_{ep} en termes de valeurs, puis en pourcentages de réductions (+) ou d'augmentation (-) par rapport aux valeurs de référence dans le tableau suivant :

Tableau 6.17 : Résultats des indices adoptés pour la certification énergétique

Système / Indice	Bâtiment référence	Brise-soleil	Masque intégré	Surventilation nocturne été	Inertie	Fenêtres performantes	Isolation
***IPR* %**	0	+41 %	+14 %	+23 %	+10 %	+0,6 %	-13 %
***Bbio*$_{bât}$ Points**	273,35	219	267,35	261,35	199,35	209,35	207,35
***% Bbio*$_{bât}$**	0	+20 %	+2,5 %	+4,5 %	+27 %	+24 %	+24 %
***C*$_{ep\ bât}$ kwh$_{EP}$/m^2**	297,8	277,39	299,86	293,05	222,16	247,53	232,16
***% C*$_{ep\ bât}$**	0	6,8 %	-0,6 %	+16 %	+25,4 %	+17 %	+22 %

L'analyse de ces valeurs est synthétisée de la manière suivante :

- **Le système de brise-soleil :** Le climat de Tartous, très ensoleillé, nécessite de se protéger du soleil. Le brise-soleil a donc un impact significatif sur l'indice de rafraîchissement d'été, ainsi que sur le besoin de climatisation. Ceci se traduit par des réductions importantes en valeur des indices IPS et Bbio. Nous rappelons que le brise-soleil mobile (présent seulement l'été) est le type adopté dans notre étude.

- **Le système de masque intégré :** Il permet une amélioration importante en performance de confort d'été comme en besoin de climatisation. Ceci se traduit par une baisse des valeurs des indices IPS et Bbio. Par contre, ces améliorations sont accompagnées d'une augmentation en consommation d'énergie primaire, et à l'origine de la hausse en besoin de chauffage en hiver.
- **La surventilation nocturne en été :** Elle agit uniquement sur les besoins en rafraîchissement. Ceci se traduit par la réduction des trois indices IPS, Bbio et C_{ep}.
- **L'inertie thermique :** C'est un facteur qui agit principalement en été, en amplifiant les températures maximum et minimum, ce déphasage dans notre site, qui présente un climat chaud, apporte des bénéfices en été comme en hiver. Plus l'inertie est élevée, plus les améliorations dans les trois indices sont donc effectives.
- **Les fenêtres performantes :** Le climat de notre site d'étude est caractérisé par des flux solaires importants. Le facteur solaire (SW) du vitrage a donc un impact significatif sur le besoin en rafraîchissement. Par contre, le double vitrage et la bonne qualité des encadrements des menuiseries ont une influence assez importante sur les besoins en chauffage. Ceci se traduit par une amélioration significative des trois indices retenus.
- **L'isolation extérieure :** Malgré les performances négatives en confort d'été produit par l'isolation, les gains en valeurs des besoins bioclimatiques et en consommation d'énergie primaire sont très importants. Ceci nous a démontré la nécessité de coupler ce système avec d'autres pour améliorer les performances.

7. Couplages entre les systèmes techniques

Malgré les améliorations de performance réalisées par les systèmes brise-soleil, masque intégré, ventilation nocturne et fenêtres performantes, les valeurs de l'indice IPS sont toujours éloignées de la valeur optimale égale à (1). En ce qui concerne les indices $Bbio_{bât}$ et $C_{ep\ bât}$, malgré le fait que les résultats sur ces indices grâce à l'adoption des systèmes techniques sont positifs, il n'est pas possible d'atteindre les niveaux exigés par la RT2012 ($Bbio_{max}$ = 56 points pour les bâtiments climatisés, et $C_{ep\ bât\ max}$ = 50 kwh_{EP}/m^2). Ceci montre l'importance qu'il y a de réaliser des couplages entre les systèmes techniques afin d'améliorer les valeurs de ces indices.

Avant de commencer les couplages entre les systèmes d'amélioration, il nous semble nécessaire de classer ces systèmes selon leur fonctionnement, afin de mieux comprendre les couplages prévus.

7.1. Classification des systèmes d'amélioration selon leur comportement

Il nous semble dès lors nécessaire de revenir aux principes physiques de chaque système pour classer ceux-ci selon leur comportement et évaluer l'interaction nécessaire entre les différents classements afin de réaliser des couplages bénéfiques.

Dans le tableau 6.18, nous allons classer les différents systèmes selon leur comportement.

Tableau 6.18 : Classification des systèmes selon leur comportement

	Diminuer les apports solaires	Évacuer la chaleur	Refroidir/ventiler	Conserver la chaleur en hiver
Brise-soleil	X			
Masque intégré	X			
Ventilation nocturne été		X	X	
Inertie			X	X
Fenêtres performantes	X			X
Isolation	X			X

Ce tableau permet d'éclairer les actions de chaque système. Par exemple, les fenêtres performantes et l'isolation permettent à la fois de diminuer les apports solaires par leur qualité de performance, mais également de conserver la chaleur en hiver par leur capacité d'isolation. L'inertie, en été, fait absorber le froid durant la nuit et l'évacue durant la journée ; c'est l'inverse en hiver. La ventilation nocturne, en été, évacue la chaleur intérieure et fait rentrer l'air frais extérieur durant la nuit.

Le classement des systèmes selon leur action ne va pas seulement permettre de mieux évaluer le couplage par interaction des différentes actions, mais il va aussi nous permettre de diminuer le nombre de systèmes qui produisent les mêmes actions afin de les regrouper en un seul système. Le tableau 6.19 montre le classement des systèmes selon leur action :

Tableau 6.19 : Classification des systèmes selon leur action

Action		Système
1	**Diminuer les apports solaires**	**Brise-soleil**
		Masque intégré
2	**Ventiler**	**Ventilation nocturne été**
3	**Refroidir et conserver la chaleur en hiver**	**Inertie**
4	**Diminuer les apports solaires et conserver la chaleur en hiver**	**Fenêtres performantes**
		Isolation

Ce classement des systèmes selon leurs comportements sera adopté pour effectuer les couplages nécessaires afin d'améliorer les valeurs des indices retenus.

7.2. Réalisation des couplages entre les systèmes

Un couplage entre les différents systèmes techniques doit être réalisé et sera bénéfique pour plusieurs raisons. La première est qu'il permet d'effectuer une amélioration importante en matière de confort, de besoins bioclimatiques et de consommations énergétiques. Ce cas sera établi quand une synergie entre les systèmes couplés sera réalisée.

La deuxième raison est qu'il permettra de mettre en évidence – lors d'un couplage- que certains systèmes en dominent d'autres. Ce cas se traduira par la faible influence de l'action d'un système sur un autre.

Grâce au tableau 6.19, nous pourrons choisir des couplages qui devraient être avantageux au niveau de la complémentarité des comportements et des actions. Nous allons modéliser

tous les couplages entre les systèmes et discuter des influences de ces couplages sur l'action de l'un sur l'autre.

Nous avons repéré, dans le tableau 6.19, quatre actions principales. Le nombre de couplages prévus sera donc de 10, que nous allons présenter comme suit :

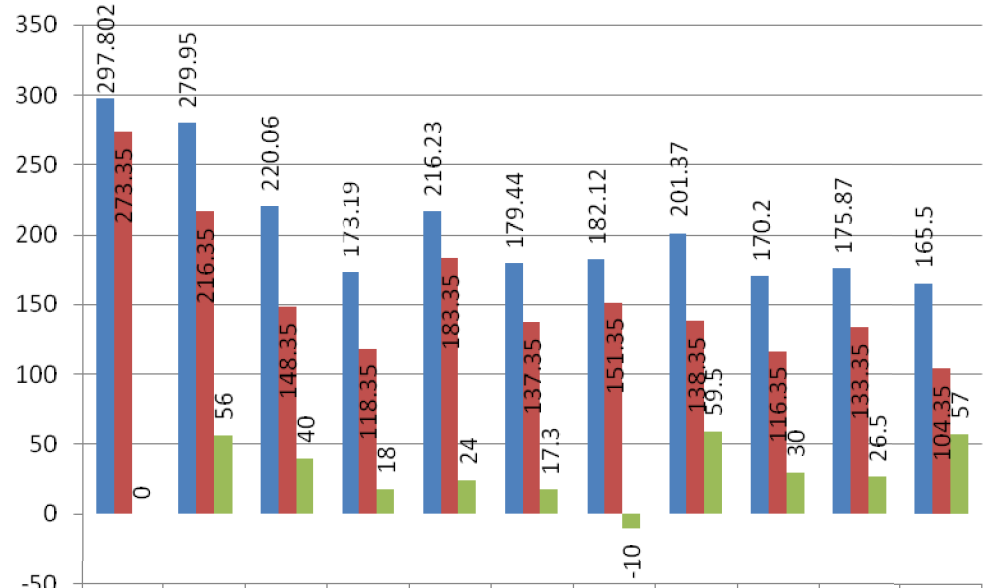
(1/2) (1/3) (1/4) (2/3) (2/4) (3/4) (1/2/3) (1/2/4) (2/3/4) (1/2/3/4)

Nous présentons dans le tableau 6.20 les résultats obtenus pour chaque couplage par la STD sur une année type l

Tableau 6.20 : Résultats des indices (IPS, $B_{bio\text{-}bât}$ et $C_{ep\text{-}bât}$) et leurs composants pour le bâtiment de référence. Période une année type.

Couplage	*IPS*	$T°_{moy}$ *Appart*	$T°_{max}$ *Appart*	$T°_{max}$ *Salon*	$T°_{max}$ *MBR*	B_c *hauf*	B_{fro}	B_{Ecl}	$Bbio_{bât}$ *Points*	$C_{ef\text{-}ch}$	$C_{ef\text{-}clim}$	$C_{ep\ bât}$ $kwh_{EP}/m^2/an$
T°référence												
référence	-	32,94	36,26	33,76	38,28	62	68	2,67	**273,35**	47	25,1	**297 802**
B S	**0,41**	30,52	32,22	32,65	32,57	62	37	4,20	**219**	47	16,7	**277,39**
M I	**0,14**	32,14	34,23	33,48	36,09	67	60	2,67	**267,35**	50,60	22,20	**299,86**
V	**0,23**	31,60	35,2	33,15	37,04	62	62	2,67	**261,35**	47	23,5	**293,05**
In	**0,10**	32,37	34,75	32,95	35,83	52	62	2,67	**241,35**	39,12	23,75	**270,38**
F	**0,006**	32,91	35,83	33,72	36,91	45	53	2,67	**209,35**	34,08	21,10	**247,53**
Is	**-0,13**	33,75	36,99	34,37	38,64	35	62	2,67	**207,35**	26,53	23,46	**232,16**
1-2	**0,56**	29,58	32,49	32,2	29,47	67	33	3,27	**216,35**	49,77	15,72	**279,95**
1-3	**0,452**	30,25	32,29	31,85	31,95	57	36	3,27	**202,35**	43,36	16,47	**263,14**
1-4	**0,18**	31,87	34,28	33,39	31,75	19	32	3,27	**118,35**	14,35	15,19	**173,19**
2–3	**0,314**	31,07	33,62	32,19	34,58	**55**	**56**	**2,67**	**235,35**	41,5	21,92	**272,13**
2-4	**0,173**	31,91	35,16	33,09	32,98	18	44	2,67	**137,35**	13,66	18,59	**179,44**
3-4	**-0,1**	33,54	36,1	34	34,72	17	52	2,67	**151,35**	12,65	20,50	**182,12**
1-2–3	**0,61**	29,31	31,49	31,25	30,8	61	32	3,27	**202,35**	45,86	15,23	**266,88**
1-3-4	**0,3**	31,17	33,31	32,62	32,44	18	32	3,27	**116,35**	13,4	15,14	**170,2**
2-3-4	**0,265**	31,37	34,08	32,43	35,01	17	43	2,67	**133,35**	12,66	18,38	**175,87**
1-2-3-4	**0,57**	29,56	31,84	31,39	30,96	18	26	3,27	**104,35**	13,42	13,54	**165,5**

Figure 6.38 : Résultats de indices (IPS, $B_{bio\text{-}bât}$ et $C_{ep\text{-}bât}$) pour le bâtiment de référence. Période une année type.



	Réf	1 2	1 3	1 4	2 3	2 4	3 4	1 2 3	2 3 4	1 3 4	1 2 3 4
Cep bât kwhEP/m2	297.802	279.95	220.06	173.19	216.23	179.44	182.12	201.37	170.2	175.87	165.5
Bbiobât (Points)	273.35	216.35	148.35	118.35	183.35	137.35	151.35	138.35	116.35	133.35	104.35
IPS %	0	56	40	18	24	17.3	-10	59.5	30	26.5	57

7.3. Analyse des résultats des couplages

Nous avons effectué ces couplages dans le but d'améliorer les valeurs des indices retenus (Bbio, C_{ep} et IPS). Les systèmes d'amélioration adoptés réagissent selon leur nature, et nous avons classé leur action en quatre catégories, illustrées dans le tableau 6.19. Les résultats sont présentés dans le tableau 6.20 et la figure 6.38.

Il nous semble que l'association entre les actions « diminuer les apports solaires » et « ventiler » produites par le couplage 1-2 est intéressante du fait de la cohérence entre les principes de chacun de ces systèmes. Ceci se traduit par la réduction des températures moyenne de 3,36 °C et maximum de 3,77 °C de l'appartement. Ces abaissements des températures montrent une complémentarité, en augmentant l'indice IPS à 0,56. Par contre, ce couplage témoigne d'abaissements moins important pour les autres indices retenus, avec des baisses de l'indice $Bbio_{bât}$ de 20 % et de $C_{ep\ bât}$ de 6 %. Nous pouvons expliquer ces résultats par la nature des actions combinées et par la période d'été, où ce couplage remplit son rôle en abaissant les besoins bioclimatiques et les consommations énergétiques de la climatisation.

Ce couplage est performant d'un point de vue de confort d'été, mais moins performant au niveau des besoins bioclimatiques et consommation énergétique, surtout en hiver.

Même si les deux actions, dans le couplage 1-3 ne sont pas complémentaires, mais plutôt additives, cette combinaison de la diminution des apports solaires et de l'inertie montre une efficacité remarquable pour les trois indices, avec IPS = 0,452, et 26% et 12 % d'amélioration en valeurs pour B_{bio} et C_{ep} respectivement. Ceci se traduit par la nature des actions, en diminuant les apports solaires et de déphasant, et en amortissant les apports de chaleur.

Le couplage 1-4 montre une efficacité très importante en baissant les valeurs des indices B_{bio} de 57 % et de C_{ep} de 42 % : il permet, en hiver, de conserver la chaleur interne et, en été, de diminuer les apports solaires. Toutefois, l'indice IPS n'est pas tellement amélioré sur le

plan des systèmes de protection solaire seuls. Ceci peut cependant s'expliquer par le fait que l'isolation ne traite pas les ponts thermiques, par lesquels la chaleur extérieure peut pénétrer, et que la chaleur intérieure est davantage conservée, malgré les protections solaires mises en places au niveau des ouvertures.

Un rôle négatif, en termes de confort d'été, a été mis en évidence par le couplage 3 4, qui se présente comme une association entre l'inertie et les systèmes diminuant les apports solaires par l'utilisation de fenêtres performantes et la conservation de la chaleur en été. Cela semble normal du fait de la nature des comportements de la chaleur, déphasée par l'inertie et conservée par l'isolation, grâce à la protection offerte par les fenêtres performantes, que sont marginaux au niveau de l'abaissement des températures. Ce couplage est très rentable en hiver, mais pas du tout judicieux à réaliser du fait de son rôle négatif en été.

Le couplage 1-2-3 révèle un résultat assez positif de l'indice IPS, de 0,61. Il s'agit de diminuer les apports solaires en été avec une surventilation nocturne évacuant la chaleur, accompagnée d'un déphasage de la chaleur conservée dans l'enveloppe. Le rôle de déphasage en hiver est positif aussi, avec des résultats d'amélioration des indices Bbio et C_{ep} remarquables (26 % et 10 % respectivement).

L'absence de protection solaire (ombrage solaire) dans le couplage 2-3-4 se traduit par une valeur moins importante de l'indice IPS par rapport au couplage précédent. Par contre, la présence de l'isolation et les fenêtres performantes associées à l'inertie montrent les plus basses valeurs en besoins de chauffage et consommation de chauffage, avec une baisse des valeurs B_{bio} et C_{ep} de 51 % et 41 % respectivement.

Le couplage entre les quatre actions consiste à appliquer tous les systèmes des différentes actions ensemble. Entre actions complémentaires ou additives, les résultats sont positifs et judicieux pour les trois indices. Les valeurs des indices Bbio et C_{ep} sont les plus bas, avec une baisse de 61,8 % pour Bbio et de 44,4 % pour C_{ep}. Malgré les valeurs très positives des indices Bbio et C_{ep}, la valeur de l'indice IPS n'est pas la plus basse. Ceci se traduit par un effet négatif de l'isolation en été.

7.4. Conclusion sur les résultats des couplages

Nous avons réalisé des couplages dans le but de chercher à améliorer les valeurs des indices retenus dans notre procédure énergétique (Bbio, C_{ep} et IPS). Les résultats des couplages montrent des améliorations par rapport à l'utilisation des systèmes seuls pour les trois indices. Cependant, les performances d'un couplage ne sont pas équivalentes à la somme des performances de chacun des systèmes. L'effet d'interaction entre les systèmes, selon leur nature d'action, augmente l'efficacité de l'ensemble.

Le meilleur couplage, au niveau de la performance d'été, est le couplage 1-2-3 (IPS=0.595). Les meilleurs résultats des indices B_{bio} et C_{ep} ont été obtenus par le couplage de tous les systèmes ensemble (1-2-3-4) avec (B_{bio}= 104.35 points, et C_{ep} = 165.5 $kWh_{EP}/m^2/an$).

Malgré l'efficacité du couplage 3-4 au niveau des besoins bioclimatiques et de la consommation énergétique, nous constatons une augmentation de la température en été, représentée par une valeur négative de l'indice IPS. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi d'éliminer ce couplage.

Les différents couplages présentent des valeurs de performances éloignées pour les trois indices. Nous devons donc choisir le couplage qui est le plus judicieux et qui se rapproche le plus des valeurs optimales des trois indices à la fois. Dans cette logique, il nous semble que le couplage 1-2-3-4 représente le cas idéal entre tous, avec une valeur de l'IPS de 0,57, qui signifie une température moyenne dans l'appartement de 29,56 °C, donc une baisse effective

de 3,38 °C par rapport à l'état de référence, et une température maximum de 31,84 °C, donc une baisse de 4,42 °C durant la semaine la plus chaude. Les figures 6.39 et 6.40 montrent la variation de la température dans la chambre *Master bedroom* (zone sud) et le salon (zone nord), avec des valeurs de l'indice Bbio de 104,35 points, et, pour l'indice C_{ep}, de 165,5 $kwh_{EP}/m^2/an$.

Figure 6.39 : Observation des températures du couplage 1-2-3-4 par rapport au bâtiment de référence (chambre *Master bedroom*, semaine 33)

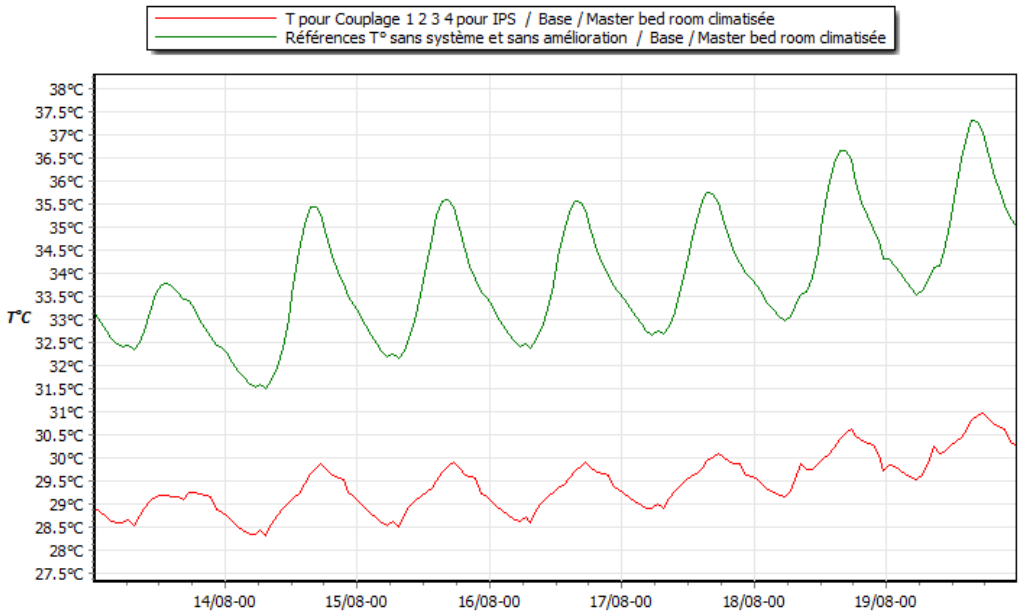
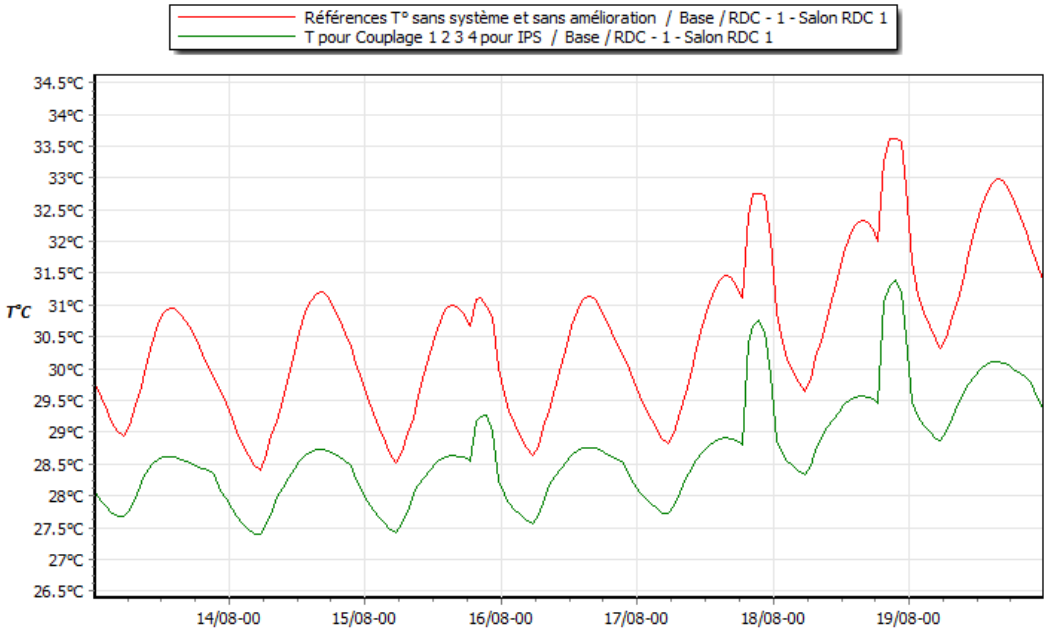


Figure 6.40 : Observation des températures du couplage 1-2-3-4 par rapport au bâtiment de référence (salon, semaine 33)



Même en ayant effectué tous les couplages possibles, la température maximum dans l'appartement dépasse la température de confort durant la semaine la plus chaude. Les valeurs des indices retenus (B_{bio} et C_{ep}) sont aussi toujours plus hautes que les valeurs limites

imposées par la RT2012. Ces résultats nous amènent à adopter de nouvelles valeurs de limites, déterminées selon les contraintes énergétiques et économiques de la ville de Tartous.

Nous proposons donc, en tenant compte des spécificités de notre site :

- Pour le Bbio : une valeur Bbio $_{max}$ = $\boldsymbol{Bbio_{max\ moyen} * (M_{bgéo} + M_{balt} + M_{bsurf})}$ +60
- $\boldsymbol{Bbio_{max}}$ = 80 x (0,7 + 0 + 0) + 60 = 116 (pour les bâtiments climatisés)
- $\boldsymbol{Bbio_{max} = Bbio_{max\ moyen} * (M_{bgéo} + M_{balt} + M_{bsurf})}$

8. Mise en place des valeurs limites des indices principaux de la certification énergétique en région EM

Le certificat énergétique que nous proposons prend la même forme que la RT2012, en termes d'exigences principales et de moyens, considérant en même temps les spécifications de notre site d'étude et les résultats des enquêtes réalisées auprès des occupants et de professionnels.

Les résultats des indices du bâtiment d'étude montrent des valeurs plus importantes que les valeurs limites de la RT2012 (cf. chapitre 6 § 2.4.). Pour cette raison, nous avons cherché à améliorer l'état énergétique du bâtiment d'étude afin de nous rapprocher au maximum des valeurs réglementaires. Les stratégies de choix de solutions bioclimatiques applicables et disponibles sur le site d'étude, en matière de matériaux et de savoir techniques (cf. chapitre 3 § 4.3.), ont été le point de départ de cette amélioration énergétique.

Malgré les optimisations effectuées par les systèmes techniques et leurs couplages, les valeurs des indices principaux restent supérieures aux valeurs réglementaires de la RT2012. Aussi nous allons recherché des valeurs limites logiques qui soient cohérentes avec notre site d'étude.

Cette analyse nécessite de replacer les systèmes techniques proposés dans un contexte plus large que la seule amélioration thermique. Une évaluation globale du bâtiment est donc à mettre en place, en perspective avec l'aspect économique et énergétique des systèmes proposés. Elle permettra d'adopter une vision transversale concernant la construction d'un bâtiment.

8.1. Évaluation des solutions adoptées pour améliorer l'efficacité énergétique

Nous avons montré, dans ce chapitre (cf. § 2.5.), la difficulté d'adapter toutes les exigences de moyens de la RT2012 sur notre site d'étude, du fait de la limite des savoir-faire et des connaissances techniques actuelles. Ces conditions de terrain ne nous ont permis d'adopter que deux exigences de moyens, qui sont :

- l'installation de solaire thermique pour couvrir le besoin en ECS ;
- le ratio de vitrages et d'ouvertures.

La solution de l'ECS solaire produit une réduction en consommation énergétique annuelle de l'ordre de 19,9 %. Par ailleurs, le ratio de vitrages et d'ouvertures est déjà respecté sur les constructions actuelles, donc cette exigence est déjà appliquée.

Si chaque solution passive adoptée produit une amélioration en valeur d'un ou plusieurs indices retenus, comme l'indique le tableau 6.17, le tableau 6.20 montre que le fait de

combiner ces solutions ensemble a pour résultat des améliorations remarquables sur tous les indices. Dans le cadre d'une évaluation générale d'un système, l'aspect économique nous semble indispensable à prendre en compte. Nous allons donc chercher à évaluer ces améliorations par une vision économique afin de valider nos choix d'amélioration.

8.1.1. Notions de coût d'investissement et de temps de retour sur investissement

Dans le cadre d'une évaluation économique pour une solution d'amélioration, il est nécessaire de prendre en compte les notions de coût d'investissement et de temps de retour sur investissement.

En ce qui concerne le coût d'investissement d'un système, celui-ci comprend :

- la fourniture et la pose des éléments – ces coûts ont été définis par une enquête réalisée sur le terrain avec des professionnels qui ont déjà mis en place ces systèmes lors de différents projets ;
- les charges énergétiques annuelles accompagnant ce système (chauffage, climatisation, éclairage, ECS, etc.), lesquelles peuvent être positives (économie d'énergie) ou négatives (ex : le brise-soleil augmente le besoin en éclairage).

Le coût de ces charges annuelles est calculé en fonction des tarifs de l'électricité, imposés en Syrie par tranches (cf. chapitre 2 § 3.2.).

L'apport entre le coût d'investissement d'un système et l'économie réalisée exprime le temps de retour réel.

Le tableau présente les données économiques de l'ensemble des systèmes techniques et de l'ensemble des couplages sous la forme des coûts d'investissement, de consommations électriques (sur la base des tarifs d'électricité, voir tableau 6.22) et d'économie réalisées et de temps de retour sur l'investissement.

Tableau 6.21 : Analyse économique de l'ensemble des solutions techniques et leurs couplages sous la forme des coûts d'investissement, de consommations électriques, d'économie réalisées et de temps de retour sur l'investissement.

	Coût d'investis-sement	Coût d'investissement L.S/m^2	$C_{ep\ Bât}$ kwh_{EP}/m^2	$C_{ef\ Bât}$ kwh_{Ef}/m^2	Consommation électrique kWh/bât/an	Consommation électrique par mois	Économie réalisée en électricité kWh/m^2/mois	Prix de l'électricité par tranche/an	Économie réalisée livre syrienne	Temps de retour
Référence			**297802**	**100,27**	**13 015,05**	**1 084,6**		**45 552,7**	**39 105**	
B S	10 760	84	277,39	93,4	12 123,32	1 010,3	6,87	42 432,6	3 120,1	3 ans 6 mois
M I	5 700	44	299,86	100,96	13 104,61	1 092	-0,69	45 864	-311,3	
V			293,05	98,67	12 807,37	1 067,3	1,6	44 826,6	726,1	
In	143 400	1 120	270,38	91,04	11 817	984,7	9,23	35 449,2	10 103,5	14 ans 2 mois
F	26 000	203	247,53	83,34	10 817,53	901,5	16,93	32 454	13 098,7	2 ans
Is	120 487	128	232,16	78,17	10 146,47	845,5	22,1	30 438	15 114,7	8 ans 6 mois
ECS $_{solaire}$	40 000	312	238,7	80,37	10 432,1	869,34	19,9	31 296,24	14 256,46	2 ans 7 mois
1-2	16 460	128	279,95	94,26	12 234,95	1 019,6	6,01	42 823,2	2 729,5	6 ans
1-2 et ECS $_{solaire}$	56 460	438	225,4	75,9	9 852,6	821	263,6	29 556	15 996,7	3 ans 6 mois
1-3	159 860	1 249	263,14	88,6	11 500,28	958,4	11,67	34 502,4	11 050,3	14 ans 6 mois
1-3 et ECS $_{solaire}$	199 860	1 540	208,5	70,2	9 112,7	759,4	325,2	18 225,6	27 327,1	7 ans 4 mois
1-4	162 947	1 273	173,19	58,31	7 568,64	630,7	453,9	15 136,8	30 415,9	5 ans 5 mois
1-4 et ECS $_{solaire}$	202 947	1 564	118,59	40	5 192,4	432,7	651,9	3 894,3	41 658,4	4 ans 10 mois
2-3	143 400	128	272,13	91,63	11 893,57	991,13	8,64	35 680,7	9 872	14 ans 7 mois
2-3 et ECS $_{solaire}$	183 400	1 413	213	71,7	9 307,4	775,6	309	18 614,4	26 938,3	6 ans 10 mois
2-4	146 487	1 144	179,44	60,42	7 842,52	653,55	39,85	15 246,7	30 288	4 ans 10 mois
2-4 et ECS $_{solaire}$	186 487	1 437	120,4	40,5	5 257,3	438,1	646,5	3 942,9	41 609,8	4 ans 6 mois
3-4	289 887	2 265	182,12	61,32	7 959,34	663,28	38,95	15 918,72	29 634	9 ans 10 mois
3-4 et ECS $_{solaire}$	329 887	2 541	123	41,42	5 376,7	448	636,6	4 032	41 520,7	7 ans 11 mois
1-2-3	159 860	1 249	266,88	89,86	11 663,83	972	28,54	34 992	10 562,7	15 ans 2 mois
1-2-3 + ECS $_{solaire}$	199 860	1 561	207,78	70	9 081	756,8	30,3	18 163,2	27 390	7 ans 4 mois
1-3-4	306 347	2 393	170,2	57,3	7 437,54	619,8	42,97	14 875,2	30 677,5	10 ans
1-3-4 + ECS $_{solaire}$	346 347	2 687	113,87	38,3	4 971,7	414,3	61,97	3 728,7	41 824	8 ans 4 mois
2-3-4	289 887	2 265	175,87	59,22	7 686,76	640,6	41,05	15 374,4	30 178,3	9 ans 7 mois
2-3-4+ ECS$_{solaire}$	329 887	2 560	116,75	39,3	5 102	425,2	60,97	3 826,8	41 725,9	7 ans 11 mois
1-2-3-4	306 347	2 393	165,5	55,72	7 232,56	602,7	44,55	14 464,8	31 087,9	9 ans 10 mois

1-2-3-4+ECS$_{solaire}$	346 347	2 706	106,4	35,83	4 650,7	387,56	64,44	3 488,05	42 064,65	8 ans 3 mois

Tableau 6.22 :Tarifs d'électricité selon l'établissement de l'électricité en Syrie. 2013

Kwh/mois	100	101-200	201-400	401-600	601-800	801-1 000	1 001-2 000	>2 000
Prix KWh en L.S	0,25	0,35	0,5	0,75	2	3	3,5	7

De ce tableau (6.21) nous pouvons retenir les principaux éléments suivants :

- un très large spectre des coûts d'investissement qui traduit la diversité des solutions techniques et de leur poids économique (un rapport de 60 entre la solution la plus réduite et celle la plus couteuse).
- des économies potentielles d'électricité très importantes (jusqu'à un facteur 2,8) grâce à des solutions techniques disponibles et maîtrisées par les professionnels dans la région EM
- des temps de retour également très disparates entre 2 ans pour les solutions simples telles que le changement des fenêtres (F) et 15 ans pour des solutions complexes associant plusieurs techniques (ombrage solaire/ventilation/inertie).

L'analyse de ce tableau (6.21) qui contient des infirmations essentiellement économique ne peut à lui seul permettre d'identifier les solutions le plus pertinentes. Il convient en effet de rajouter dans notre logique de sélection des solutions optimales des critères complémentaires en particulier énergétique et de confort.

Pour permettre cette sélection, une analyse multicritère doit être menée en donnant différentes valeurs (5) pour chaque critère (énergétique, confort, économique). La grille représentée en tableau 6.23 donne les plages de performance notées de 1 et 5.

On a choisi pour évaluer les différentes solutions techniques de pondérer ces différentes critères de la façon suivante :

- cas n°1 : pondération identique pour le critère énergétique, confort, économique
- cas n2 : EXIGENCE CONFORT : on multiplie les notes de confort par 3, alors que sont maintenus identiques les notes en énergétique et économique
- cas n°3 : EXIGENCE ECONOMIQUE ; on multiplie par 3 les notes économiques alors que sont maintenues identiques les notes en énergétique et en confort
- cas n°4 : EXIGENCE ENERGETIQUE ; on multiplie par 3 les notes énergétiques alors que sont maintenus identiques les notes en confort et économique

Tableau 6.23 : Analyse multicritère entre le confort thermique (IPS), l'indice B_{bio}, l'indice C_{ep}, le coût d'investissement et le temps de retour.

		5	4	3	2	1
Énergétique	**B_{bio}**	<120	Entre 120 et 160	Entre 160 et 200	Entre 200 et 240	>240
	C_{ep} kWh,Ep/m²	<150	Entre 150 et 180	Entre 180 et 210	Entre 210 et 250	>250
Confort	**IPS**	>0,55	Entre 0,55 et 0,4	Entre 0,4 et 0,25	Entre 0,25 et 0,15	<0,15
Économique	**Coût d'investissement L,S/m²**	= 0	Entre 0 et 50 000 Entre 0 et 400	Entre 50 000 et 150 000 Entre 400 et 1 200	Entre 150 ,000 et 250 000 Entre 1 200 et 2 000	>300 000 >2 000
	Temps de retour	= 0	Entre 0 et 5 ans	Entre 5 et 10 ans	Entre 10 et 15 ans	>15 ans

Tableau 6.24 : Réponses des solutions techniques et leurs couplages sur les exigences (énergétique, confort et économique) et leurs valorisations.

	Énergétique		Confort	Économique		Pondération * 3			
	B_{bio}	C_{ep}	IPS	Coût d'investissement	Temps de retour	Similaire	Confort *3	Économie *3	Énergie *3
BS	2	1	4	4	4	9,5	17,5	17,5	12,5
MI	1	1	1	4	4	6	8	16	10
V	1	1	2	5	5	13	17	23	15
In	1	1	1	3	2	4,5	6,5	9,5	6,5
F	2	2	1	4	4	7	9	15	11
ISO	2	2	1	3	3	6	8	12	10
ECS	1	2	1	4	4	6,5	8,5	14,5	9,5
1-2	2	1	5	4	3	10	20	17	13
1-2-ECS	2	2	5	3	4	10,5	20,5	17,5	14,5
1-3	2	1	4	2	2	7,5	15,5	11,5	10,5
1-3-ECS	2	3	4	2	3	9	17	14	14
1-4	5	4	2	2	3	9	13	14	18
1-4-ECS	5	4	2	2	4	9,5	13,5	15,5	18,5
2-3	2	1	3	3	2	7	13	12	10
2-3-ECS	2	2	3	2	3	7,5	13,5	12,5	11,5
2-4	4	4	2	3	4	9,5	13,5	16,5	17,5
2-4-ECS	4	5	2	2	4	9,5	13,5	15,5	18,5
3-4	4	3	1	1	3	6,5	8,5	10,5	13,5
3-4-ECS	4	5	1	1	3	7,5	9,5	11,5	20,5
1-2-3	2	1	5	2	2	8,5	18,5	12,5	11,5
1-2-3-ECS	2	3	5	2	3	10	20	15	15
1-3-4	5	4	3	1	2	9	16	12	18
1-3-4-ECS	5	5	3	1	3	10	16	14	20
2-3-4	4	4	3	1	3	9	15	13	17
2-3-4-ECS	4	5	3	1	3	9,5	15,5	13,5	18,5
1-2-3-4	5	4	5	1	3	11,5	21,5	15,5	20,5
1-2-3-4-ECS	5	5	5	1	3	12	22	16	22

Suite aux résultats de ce tableau, nous classons les couplages selon le poids étudié en quatre catégories :

Tableau 6.25: Classification des couplages selon quatre poids (similaire, confort, économique et énergétique).

Classification / Poids	1	2	3	4
Poids similaire	1-2-3-4-ECS	1-2-3-4	1-2- ECS	1-2/ 1-2-3- ECS / 1-3-4-ECS
Poids confort	1-2-3-4-ECS	1-2-3-4	1-2-ECS	1-2/ 1-2-3-ECS
Poids économique	1-2-ECS	1-2	2-4	1-2-3-4-ECS
Poids énergétique	1-2-3-4-ECS	1-2-3-4 / 4-4-ECS	1-3-4-ECS	1-4-ECS / 2-4-ECS / 2-3-4-ECS

Nous constatons que la solution de couplage 1-2-3-4-ECS donne les meilleurs résultats les coefficients de pondération sont similaire en énergétique/économique/confort ainsi que pour les scenarios « exigence énergétique » et « exigence confort ». Même si ce couplage est le plus coûteux en investissement, la rentabilité remarquable, exprimée par son temps de retour sur investissement, augmente son efficacité en terme économique. Il se présente en quatrième place de l'évaluation du scenario « exigence économique ».

Nous remarquons aussi que le couplage du système $ECS_{solaire}$ avec la plupart des autres couplages permet d'aboutir à une plus grande efficacité dans touts les cas.

8.2. Préconisation de valeurs limites pour les indices de performance

L'objectif de notre travail de recherche est de proposer une certification énergétique des bâtiments résidentiels dans la région Est-Méditerranée, afin de réduire les dépenses énergétiques et d'améliorer l'état de confort en général. Nous donnons donc un poids plus important aux contraintes énergétiques, ce qui nous conduit à choisir les valeurs maximales des indices de performance retenus à partir du couplage des solutions techniques les plus performantes qui présentent la meilleure réduction en matière de dépense énergétique. C'est le couplage 1-2-3-4-ECS qui remplit ces conditions. Ce couplage donne comme indices de performance les valeurs suivantes :

Tableau 6.26: Valeurs des indices pour un certification très énergétique.

$B_{bio\ max}$	$C_{ep\ max}$	IPS_{min}
120 points	150 kWh_{EP}/m^2	0,55

Cette solution technique présente par ailleurs un temps de retour sur investissement très avantageux (8 ans et 3 mois) et un indice de confort de qualité. Nous pourrions donc préconiser les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessus.

Il nous paraît donc opportun de préconiser ces valeurs limites comme limites référentielles pour un bâtiment de très bonne qualité énergétique dans les différents contextes EM.

Par ailleurs, nous pouvons définir d'autres niveaux, de moindre qualité énergétique.

Pour élargir le socle du nombre de personnes en mesure d'accéder à ce label, il sera judicieux d'étendre les valeurs limites des indices de performance, et de privilégier des solutions peu coûteuses et présentant un faible temps de retour sur investissement. Nous définirons donc un niveau plus bas de performances énergétiques qui prenne en compte en premier lieu les contraintes économiques.

Le couplage 1-2-ECS répond bien à cette exigence et peut se traduire par les valeurs des indices suivants :

Tableau 6.27: Valeurs des indices pour un certification économique.

$B_{bio\ max}$	$C_{ep\ max}$	IPS_{min}
220 points	230 kWh_{EP}/m^2	0,55

Pour compléter les dispositifs de ce label énergétique, nous préconisons un niveau intermédiaire, avec les valeurs suivantes des indices de performance :

Tableau 6.28: Valeurs des indices pour un certification intermédiaire.

$B_{bio\ max}$	$C_{ep\ max}$	IPS_{min}
170 points	190 kWh_{EP}/m^2	0,4

Ces trois niveaux de qualité constituent notre certification énergétique RT2012-EM, et nous les désignons sous les appellations suivantes :

Tableau 6.29 : Les trois niveaux de certification énergétique RT2012-EM.

	Indices de performance	Niveau Argent	Niveau Or	Niveau Platine
Valeurs des indices de performances par niveau	$B_{bio\ max}$	220	170	120
	$C_{ep\ max}$	230	190	150
	IPS_{min}	0,25	0,4	0,55

Cette répartition par niveau, en prenant en compte toutes les contraintes d'évaluation entre les critères économiques, de confort et énergétiques, peuvent être accessibles à toutes les couches sociales de la ville de Tartous, afin que soit effectuée une réduction des dépenses énergétiques dans les bâtiments résidentiels.

Conclusion

En nous appuyant sur la forme générale de la méthode française RT2012, présentée dans le quatrième chapitre, et sur l'outil de simulation thermique dynamique validé dans le cinquième chapitre, nous avons élaboré une procédure de certification énergétique cohérente avec les spécificités de la région Est-Méditerranée, dit « RT2012-EM ».

Nous avons présenté en premier lieu les spécificités de la région et des bâtiments résidentiels dans la ville de Tartous, en commençant par une comparaison entre les données météorologiques de la ville de Tartous et les données météorologiques de la ville française la plus méditerranéenne. Puis nous avons cherché et présenté tous les scénarios d'usages conventionnels du site.

Nous avons ensuite effectué une analyse critique de la RT2012 pour une extension vers la région Est-Méditerranée, en gardant la même structuration du bâtiment et en choisissant les systèmes énergétiques les plus accessibles dans la ville de Tartous, afin de valider la possibilité d'appliquer la forme générale de la méthode RT2012 dans le contexte de notre région d'étude.

Nous avons ainsi simulé le bâtiment de référence par l'outil de STD Comfie+Pleiades choisi dans le but de calculer les indices réglementaires de performance. Le résultat de cette simulation nous a montré qu'il était possible d'adapter certains indices (B_{bio} et C_{ep}) et d'en rejeter d'autres (T_{ic}), qui seront remplacés par un nouvel indice (IPS).

Une série de solutions techniques susceptibles d'apporter une amélioration énergétique du bâtiment de référence est proposée. Par la suite, nous avons effectué tous les couplages possibles entre les solutions techniques retenues, dans le but de mettre en évidence les limites des améliorations énergétiques et thermiques possibles pour les bâtiments résidentiels dans la ville de Tartous.

Enfin, nous avons élaboré une étude globale des solutions techniques retenues et de leurs couplages, sur une base d'évaluation thermique, énergétique et économique, afin de préconiser des valeurs de référence pour les indices de performances retenus dans cette certification énergétique destinée aux bâtiments résidentiels de la région EM

	Indices de performance	**Niveau Argent**	**Niveau Or**	**Niveau Platine**
Valeurs des indices de performances par niveau	$\mathbf{B_{bio\ max}}$	220	170	120
	$\mathbf{C_{ep\ max}}$	230	190	150
	$\mathbf{IPS_{min}}$	0,25	0,4	0,55

La procédure que nous avons présentée a l'originalité de considérer la structure du bâtiment, ses systèmes et les différents scénarios d'usages comme un ensemble mais également de répondre aux contraintes locales des professionnels et du marché. En outre, sa structure, similaire à la réglementation française RT2012, nous permet d'espérer une application dans la région Est-Méditerranée, similaire à la RT2012 en France.

Conclusion générale et perspectives de développement des labels énergétiques appliqués aux bâtiments résidentiels dans la région Est-Méditerranée

L'intégration de la notion de maîtrise de l'énergie dans les modes de construction ont permis de mettre en place une politique énergétique rationnelle. Dans les pays en développement comme la Syrie, où les croissances urbaines et démographiques sont remarquables, les bâtiments résidentiels ne sont soumis à aucune obligation énergétique ou thermique. Dans ce contexte, notre travail de recherche a pour objectif de mettre en place une certification énergétique pour les bâtiments résidentiels neufs dans la région côtière de l'Est-Méditerranée.

Tout d'abord, nous avons tenté d'identifier quelques théories urbaines face aux enjeux du développement durable, des dispositifs internationaux et nationaux et l'état énergétique en Syrie entre l'offre et la demande. Une recherche des chiffres officiels nationaux a permis de calculer le coefficient de conversion énergétique de l'électricité en Syrie qui s'établit à 2,97 kWh énergie primaire pour chaque kWh électrique.

Pour illustrer les enjeux énergétiques dans les bâtiments de la région, nous avons réalisé une étude géographique, urbanistique, énergétique ainsi qu'une étude des modes de construction dans la ville de Tartous, qui est représentative des villes de même taille dans la région. Cette étude a montré l'importance du parc résidentiel neuf du point de vue énergétique.

Suite à l'absence d'informations nationales sur l'état énergétique du bâti en Syrie, et également le confort dans les bâtiments résidentiels, nous avons réalisé une série d'enquêtes destinées aux ménages et aux professionnels, afin d'établir une base de données servant de référentiel pour bien évaluer et décrire le contexte énergétique et le confort dans ces types de bâtiments.

L'objectif de cette recherche est de créer un label énergétique destiné au bâtiment neuf résidentiel, qui soit adapté au contexte local. Nous avons évalué les labels de basse consommation énergétique les plus répandus dans le monde, en effectuant une comparaison générale en matière énergétique, avec une analyse critique de leurs extensions dans la région Est-Méditerranée. Le résultat de notre analyse a montré la possibilité d'adopter la forme générale de la réglementation française RT2012 pour cette extension.

Notre contribution principale était de développer une procédure de certification énergétique des bâtiments résidentiels neufs, capable de prendre en compte les différents éléments du contexte de la région Est-Méditerranée. En ce sens, nous avons montré les obstacles qu'il y a à appliquer directement la réglementation RT2012, notamment le climat, les systèmes techniques et les scénarios d'usage. En nous basant sur des enquêtes et des chiffres réels, nous avons mis en place tous les descriptifs nécessaires concernant les systèmes énergétiques les plus utilisés, et les différents scénarios d'usage applicables dans les bâtiments résidentiels de la région, en gardant la structure du bâtiment et la forme générale de la RT2012.

Une évaluation de l'application des indices réglementaires et des exigences de moyens de la RT2012 pour l'appartement de référence a montré la possibilité d'appliquer deux indices réglementaires (B_{bio} et C_{ep}) et deux exigences de moyens ($ECS_{solaire}$ et ratio d'ouverture fenêtre/enveloppe), et, en même temps, de chercher un nouvel indice de confort d'été.

Afin de calculer les valeurs des indices réglementaires, nous avons eu besoin d'utiliser un outil de Simulation Thermique Dynamique. Pour identifier un outil de calcul thermique et énergétique fiable et précis, nous avons développé une méthodologie de travail, en commençant par choisir un bâtiment de référence et en réalisant une série de mesures et d'acquisition de données sur ce bâtiment. La comparaison entre les résultats de campagne expérimentale et ceux de la simulation thermique dynamique, effectuée à l'aide du logiciel Comfie+Pleiades, a montré des différences acceptables, a validé l'outil de simulation retenu et en même temps, la possibilité d'adopter cet outil STD pour notre label énergétique.

Les résultats de la STD concernant l'appartement de référence ont montré les valeurs élevées des indices réglementaires (B_{bio} et C_{ep}) qui traduisent une qualité énergétique médiocre du bâtiment actuel de référence. C'est pour cette raison que nous avons cherché des solutions techniques afin d'améliorer ces indices de performance.

L'amélioration effectuée par l'application de toutes les solutions techniques disponibles sur le marché local et de tous les couplages possibles entre eux a permis de mettre en place les valeurs limites des indices de performance que nous pourrions atteindre dans les différents contextes spécifiques de la région Est-Méditerranée.

Par la suite, nous avons réalisé une évaluation globale des solutions techniques adoptées à l'aide d'une analyse multicritère, afin d'apprécier les meilleures solutions des points de vue énergétique, économique et de confort. Cette analyse nous a aidé à déterminer trois niveaux de certification : le premier prend les contraintes énergétique et confort en priorité ; la deuxième tient compte des niveaux moyens des trois exigences (énergétique, confort et économique) ; le troisième a de niveaux de performance élevée en termes économiques.

	Indices de performance	**Niveau Argent**	**Niveau Or**	**Niveau Platine**
Valeurs des indices de performances par niveau	$B_{bio\ max}$	220	170	120
	$C_{ep\ max}$	230	190	150
	IPS_{min}	0,25	0,4	0,55

Ce travail a donc permis de structurer et proposer un label énergétique susceptible d'être appliqué à des bâtiments de référence dans la région Est-Méditerranée, ce qui peut permettre d'effectuer une réduction significative de la consommation énergétique et, en même temps, d'améliorer l'état du confort dans ces bâtiments.

La suite de ce travail consisterait à diffuser ce label RT2012-E.M auprès des professionnels, des bureaux d'étude et des architectes. Cette démarche nécessiterait la diffusion auprès de ces acteurs d'outils de simulation thermique dynamique du bâtiment. Une incitation forte de l'État pourrait permettre la mise ne place de ces outils dans les universités, les instituts publics, ou l'Ordre des ingénieurs en Syrie.

Des améliorations pourraient également être apportées à ce label, par l'utilisation de systèmes techniques innovants et efficaces énergétiquement, mais qui sont actuellement absents de la région EM et ceci pour plusieurs raisons d'ordre économique et de manque de savoir-faire. Citons, par exemple, le développement de puits canadiens dans les bâtiments résidentiels qui offrent une surface de terrain libre à proximité. Les matériaux à changement de phase pourraient être une solution à apporter pour les bâtiments importants, où les contraintes économiques sont marginales. Les autres systèmes productifs en énergie et utilisés en Europe peuvent être transférés sur le marché syrien à condition de transmettre les connaissances quant à la maintenance de ces systèmes. Nous identifions également le système solaire combiné (SSC), qui présente une complexité technique de mise en œuvre et un coût élevé, mais qui peut fournir à la fois l'eau chaude sanitaire et le chauffage. Une ouverture technique auprès des professionnels et des acteurs du bâtiment pourrait donc induire une réduction de la consommation énergétique, en profitant de la source solaire disponible dans la région.

En l'état actuel, nous avons fourni un label énergétique simple et complet, basé sur des sources d'information réelles, qui produit une amélioration importante en performance énergétique et en confort mais limité aux bâtiments résidentiels. Pour ce qui concerne les bâtiments individuels, tertiaires et publics, une autre perspective serait de développer ce label

à l'aide de l'outil de STD, afin de déterminer les limites réglementaires des indices de performance et les solutions techniques adaptées pour ces types de bâtiments.

Bibliographie

ADEME, *Le chauffage, la régulation, l'eau chaude, Chaleur et confort sans gaspillage, l'habitat individuel*, Rapport, France, Septembre 2011. 36 p.

ADEME, *Guide d'aide au montage de projet photovoltaïque*, Guide et cahier techniques, France, 2013, 16 p.

ADEME, *Techniques de rafraîchissement basse consommation*, fiche OD, France, 2003, 11p.

ADEME- Agence de l'eau, *Guide de l'éco construction*, Guide technique, France, 2006, 68p.

ADEME/énergie-cités, *Mesure des performances énergétiques des collectivités*, France, janvier 2003, 7 p.

ADEME-PUCA-CSTB, *Comparaison internationale Bâtiment et Énergie*, Rapport final, France, décembre 2007, 152 p.

ADEME, *Guide d'audit énergétique, U.R.E. utilisation rationnelle de l'énergie dans le bâtiment*, France, *1999,* chapitre 9, 32 p.

ADEME, *La ventilation double flux dans les bâtiments individuels*, fiche technique, France, 2013, 4p.

A. Chauvin, *Dissémination des principes de rafraîchissement passif nocturne à destination des architectes et des concepteurs*, TFE de l'ENTPE, Lyon. France, 2003, 86 p.

Adrah. M, **Centre national de la recherche énergétique en Syrie, ADEME, WEC, UNDP**, *Energie efficiency in Syrie, current situation and future prospects*, rapport, France, mars 2010, 41 p.

Adra. N, *Proposition d'une procédure de certification énergétique des logements et application au contexte libanais*, thèse de doctorat. INSA de Lyon, Lyon France, 2001, 339 p.

AFIBEP [2013], http://www.afipeb.org.

A. Hainoun et al, *Analysis of the Syrian long-term energy and electricity demand projection using the end-use methodology*, 2006, *Energy Policy* 34 (2006) 1958-1970.

Al-Mohamad. A, *Renewable energy resources en Syria « les sources d'énergie renouvelables en Syrie*, Pergamon, 2001, Renewable Energy 24(2001) 355-371.

AIENOR, *Étude préalable, démarche de performance pour les constructions soumises au climat atlantique ; Adaptabilité des labels existants « Basse Énergie » ; Préparation technique d'un appel à projet aquitain*, Talence. France, 2007, 91 p.

ASHRAE Handbook Fundamentals, Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance-Calculation Method, New york: Ashrae, 1981.

ASHRAE Fundamentals, *Non residential cooling and heating load calculations*, New york: Ashrae, 1997.

BAHR PEYMA. A, *Urbanisation et architecture durable à Yazd : de l'adaptation des techniques ancestrales au concept bioclimatique et à l'énergie solaire dynamique*, thèse de doctorat. Université de Paris X-Nanterre, Nanterre. France, 2007, 369 p.

Banque européenne d'investissement – Euromed - Plan bleu, *Changement climatique et énergie en Méditerranée*, Rapport, France, juillet 2008, 582 p.

BERGMAN, Klaus. *Agrarromantik und Grossstadfeindschaft*, Anton Hain Vlg, Meisebheim am Glan, Marburger Abhandlungen zur politischen Wissenschaft, Band 20, 405 S. 1970, traduction et résumé par Bernard Marchand, Berlin. Allemagne, 25 décembre 2006.

B. Givoni, *L'Homme, L'Architecture et le Climat*, Paris, Le Moniteur, 1978, 460p.

BS EN ISO 10077-1-2000(E), Thermal performance of windows, doors and shutters-Calculation of thermal transmittance – Part 1: Simplified methods.

Bureau de la statistique nationale, *Statistiques national de la Syrie,* Rapport, La Syrie, 2010. 321 p.

Charlot-Valdieu. C et **Outrequin. P**, *Concevoir et évaluer un projet d'écoquartier*. Paris, Le Moniteur, 2012, 472 p.

Charlot-Valdieu. C et Philippe Outrequin. P, *L'Urbanisme durable. Concevoir un écoquartier*, Paris, Le Moniteur, (2eéd.) 2011, 312 p.

Cd2e, *Document comparatif des labels de performance énergétique*, France, 25 mars 2009, 12 p.

Centre technique des industries aérauliques et thermiques, *Les puits canadiennes/provençaux*. guide d'information, Villeurbanne. France, 2008, 32p.

Chatelet. A, Fernandez. P, Lavigne. P, *Architecture climatique : une contribution au développement durable*, t. 2 : *Concepts et dispositifs*, Aix-en-Provence, Edisud, 1998, 160 p.

CHAHWANI. L, Valorisation de l'inertie thermique pour la performance énergétique des bâtiments, thèse de doctorat, université de Grenoble, Grenoble. France, 2011, 222p.

Chalier. B, *Euromed Héritage* : un programme culturel dans la processus de Barcelone, rapport, Barcelone. Espagne, 2005, 125 p.

CHIBLI. M, *Comptabilité énergétique urbain. Le cas de la ville d'Alep en Syrie*, thèse de doctorat. Université de Paris XII, France, 1994, 405 p.

Chilea. F, *Développement d'une méthodologie de conception de bâtiment à basse consommation d'énergie*, thèse de doctorat, université de La Rochelle, La Rochelle. France, 2008, 302 p.

Cœudevez. C.S, Deoux. S, *Bâtiments, santé, le tour des labels,* Andorre, Médieco Éditions, 2011, 174 p.

Comfie+Pleiades, http://www.izuba.fr

CTE, *Código Técnico de la Edificación* -Ministerio de la Vivienda, Barcelone, Espagne, mars 2006.

CSTB, *Coefficients K des parois des bâtiments anciens*, Cahiers technique du CSTB, France, 1980

CSTB, Méthode de calcul TH-BCE 2012, France, 2010, 1377p.

Fernandez. P, Lavigne. P, *Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondement & méthodes*, *Paris*, Le Moniteur, 2009, 244 p.

Flory-Celini. C, Modélisation et positionnement de solutions bioclimatiques dans le bâtiment résidentiel existant, Thèse de doctorat, *université Lyon 1*, Lyon. France, 2008, 212 p.

Frick. D, *Éléments urbaphobes dans l'idéologie urbaine du Mouvement moderne,* Université de Berlin, Presse universitaire de Berlin, traduction de l'allemande par Gilles Duhem, France, 8 mars 2007.

GrDF, *Les chaudières à condensation*, Fiche technique, France, 2010, 12p.

Henderson. G, *Standard Assessment Procedure, National Home energy rating*, *BELAS Mechanisms for energy labelling of existing buildings*, Country report, United Kingdom, 2000.

INSEE, SOES, CITEPA, CCNUCC, *Stratégie nationale de développement durable*, Rapport, France, mai 2011, 35 p.

Jaffar. A, *Comptabilité énergétique urbain. Le cas de l'agglomération d'Amman*, thèse de doctorat. Université de Paris XII, France, 1990, 394 p.

J.-M. Furbringer, *Sensibilité de modèles et de mesures en aéraulique du bâtiment à l'aide de plan d'expérience*, thèse de doctorat, École polytechnique supérieure fédérale de Lausanne, Lausanne, 1994, 183 p.

Joffroy, *La réhabilitation des bâtiments : conserver, améliorer, restructure les logements et les équipements,* Franc, Edition Le Moniteur, Paris, 1999.

Konya. A, *Design primer for hot climates*, Londres, The Architectural Press, 1980.

La Banque mondiale, *Perspective monde ?*, Université de Sherbrooke, Québec. Canada, Rapport, 2013.

La Banque mondiale, *Perspective monde*, Université de Sherbrooke, , Québec. Canada Rapport, 2013.

LE COURBOSIER, La charte d'Athèns. Paris, Points, 1971, 192p.

Loncour. X, Deneyer. A, Blasco. M, Flamant. G, Wouters. P, *Les doubles façades ventilées*, Centre scientifique & techniques de la construction (CSTC), Bruxelles, 2004, 48p.

Manicore, http://www.manicore.com/documentation/serre/GES.html, *Comment évoluent actuellement les émission de gaz à effet de serre ?*, 2013.

Marchand. B, *Les Ennemis de Paris*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2009, 397 p.

M. Adrah, Centre national de la recherche énergétique en Syrie, ADEME, WEC, UNDP, *Energie efficiency in Syrie, current situation and future prospects*, rapport, mars 2010.

Mairie de Tartous, Archive national, 2011.

MED ENER-OME, *L'efficacité énergétique dans les pays sud et de l'est de la méditerranée : panorama des politiques et des bonnes pratiques* », rapporte, éd :HAVAS DESIGN PLUS, Portugal, 2011, 56 p.

MERLIN. P, Choay. F, *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. , Paris, P.U.F, (8eéd.) 2009, 939 p.

Meunier. F et Mugnier. D, *La climatisation solaire*, Dunod, Paris, 2013, 300p.

Minergie [2013], http://www.minergie.ch/minergie_fr.html,

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, Insee, *Repères, Les indicateurs de la stratégie nationale de développement durable 2010-2013*, France, Rapport, Édition 2012.

Ministère de l' l'Électricité syrienne, *La Syrie*, rapport, 2010.

Ministère de l' l'Électricité syrienne, *La Syrie*, rapport, 2012.

Ministère du Pétrole et des Ressources minières en Syrie (MOPMR) [2011] http://mopmr.gov.sy/index.php/petroleumnews/archived-articles.html,

National energy center in Syria, *energy situation in Syria*, Rapport, 2011.

Olgyay. V, *Design with climate*, Princeton University Press, New Jersey, 1963.

Ordre des ingénieurs syrien, *Code d'isolation thermique en* Syrie, Syrie , 2008.

P. Aude, *Contribution à l'amélioration des protocoles de validation des modèles numériques de simulation du comportement thermo-aéraulique des bâtiments*, thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, Lyon. France, 1997, 276 p.

Passiv'hauss [2013], http://passiv.de/en/index.php

Peuportier B, *Bancs d'essais de logiciels de simulation thermique*, Journée thématique SFT-IBPSA, école des Mines de Paris, Paris, Mars 2005

Pr EN ISO 1007-2-2000, Thermal performance of windows, doors and shutters-Calculation of thermal transmittance – Part 2: Numerical method for frames.

PREBAT. ADEME-PUCA-CSTB, *Comparaison internationale Bâtiment et Énergie. B-Programme d'opérations performantes*, France, décembre 2007,209 p.

Quesnay. P, *Tableau économique*, Versailles, décembre 1758.

Sakkal. S, *L'Habitat non réglementaire périurbain à Alep-Syrie*, thèse de doctorat, Institut d'urbanisme de Paris, Paris. France, 1985, 420p.

SAMMAN. L, *La Population de la Syrie, étude géodémographique,* Université de paris 1.Panthéon-Sorbonne,Paris. France, 1976, 300p.

SOHNREY. H, *Ausschuss für Wohlfahrtspflege auf dem Lande* , *Das Land*, Jg IV, 1895-1896, 369 p.

Statistique nationale de l'établissement public d'électricité en Syrie, *La Syrie*, rapport, 2010.

Villot. J, Gondran. N et Laforest. V, Label de la construction : quelle contribution possible au facteur 4 ?, *Développement durable et territoires*, Mars 2011, Vol.2, n°1, URL : http://developpementdurable.revues.org/8834 ; DOI: 10.4000/developpementdurable.8834..

Villeneuve. C, *Forêts et humains : une communauté de destins*. rapport, Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie, France, 2011, 12 p.

Wurtz. E et Trombe. A, *efficacité énergétiques des bâtiments. Vers des bâtiments autonomes en énergie*, journée thématique SFT – IBPSA, Chambéry. France, rapport, INES, 2006, 72 p.

- Annexes

1. Annexe1 (Les enquêtes)

<u>ANNEXE 1A</u>, Enquête et observation générale sur l'état de la construction dans les nouveaux bâtiments de Tartous,

Nous avons vérifié que les nouvelle extension suivis les plans d'aménagement, (voire photos des anciens et des nouveaux quartiers).

Nous avons visité quatre chantiers (deux en centre ville et deux situés dans les nouvelles extensions de Tartous)

- Quartiers en centre ville

Deux chantiers dans les anciens quartiers :

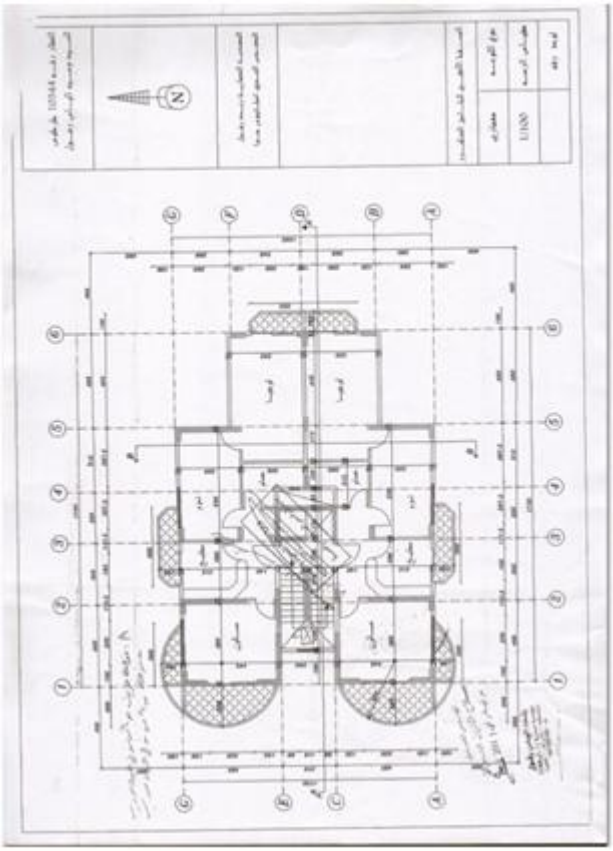
Les nouveaux quartiers d’extension :

Deux chantiers en cours d'exécution dans les nouvelles extensions :

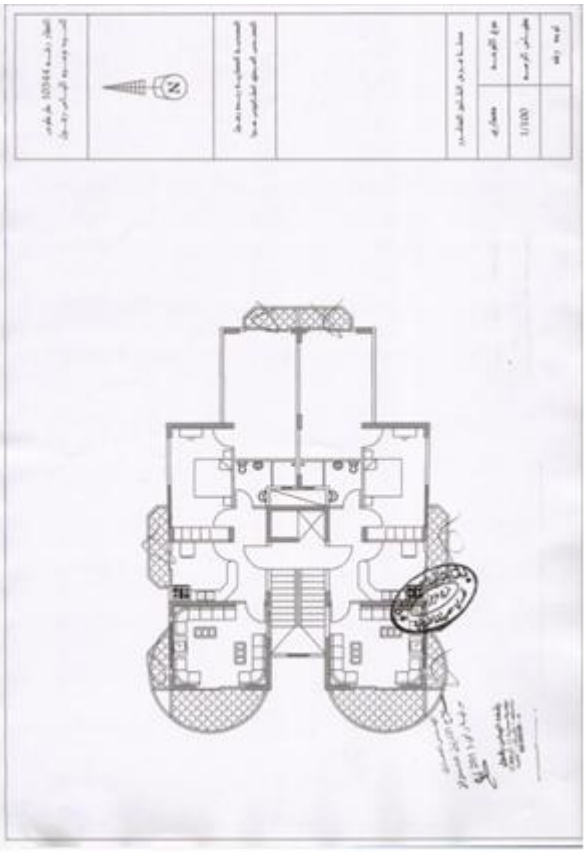
Les quatre bâtiments visité sur place :

1- Bâtiment de 7 étages, avec 2 appartements chaque étage

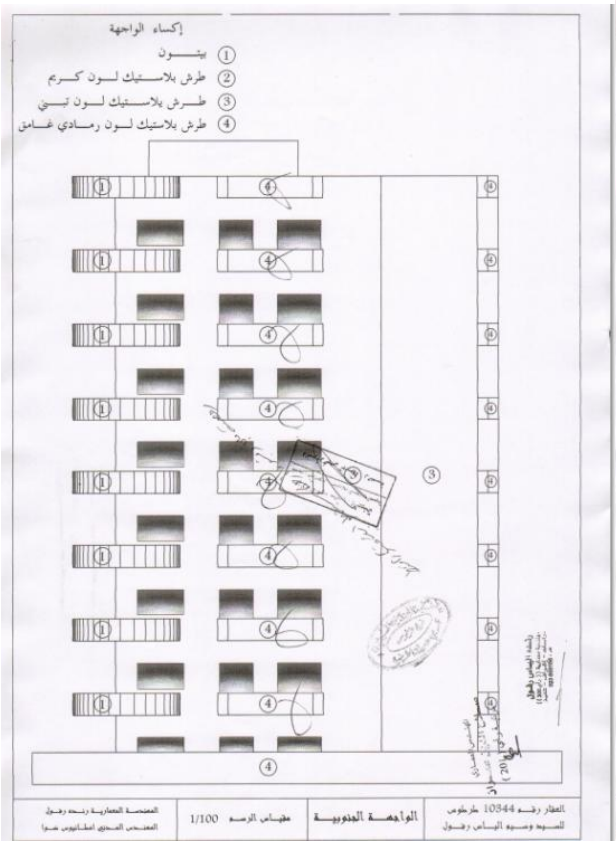
Etage courant



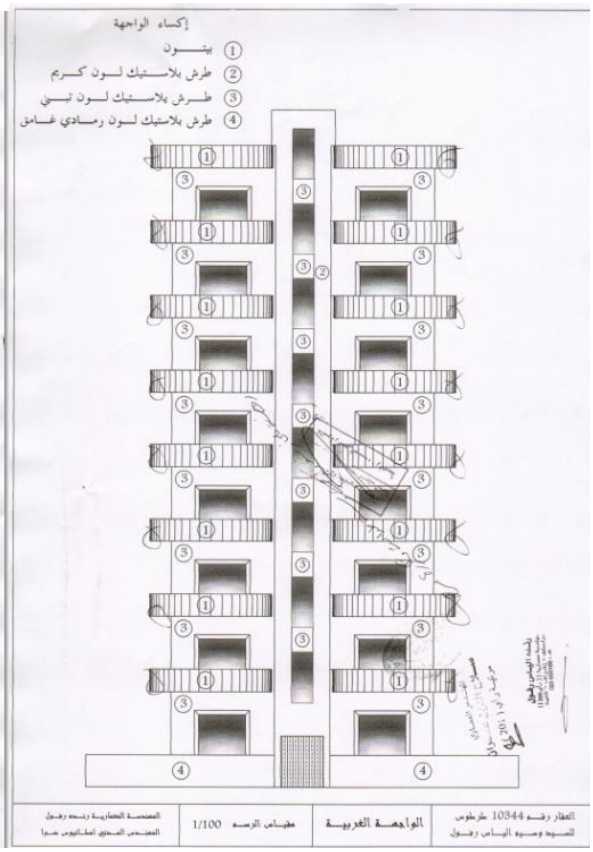
Sous-sol



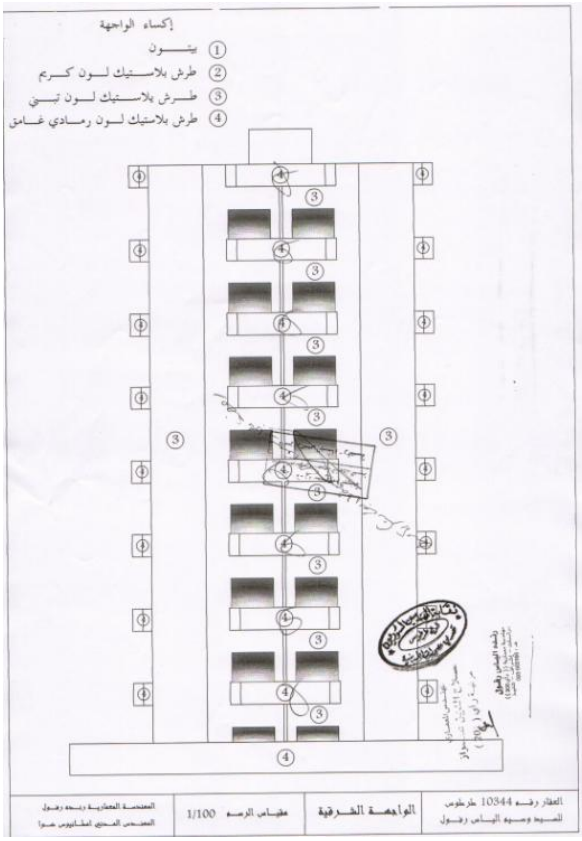
Façade sud



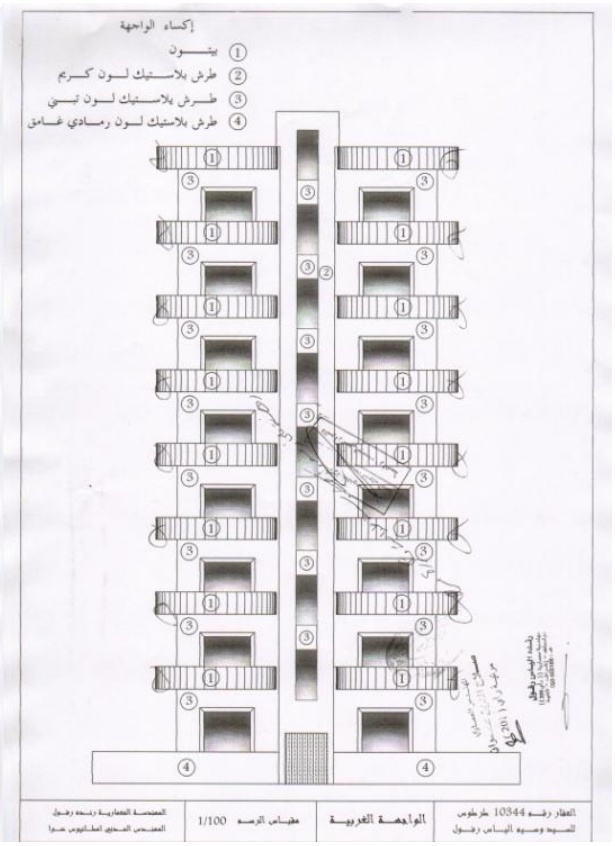
Façade Ouest



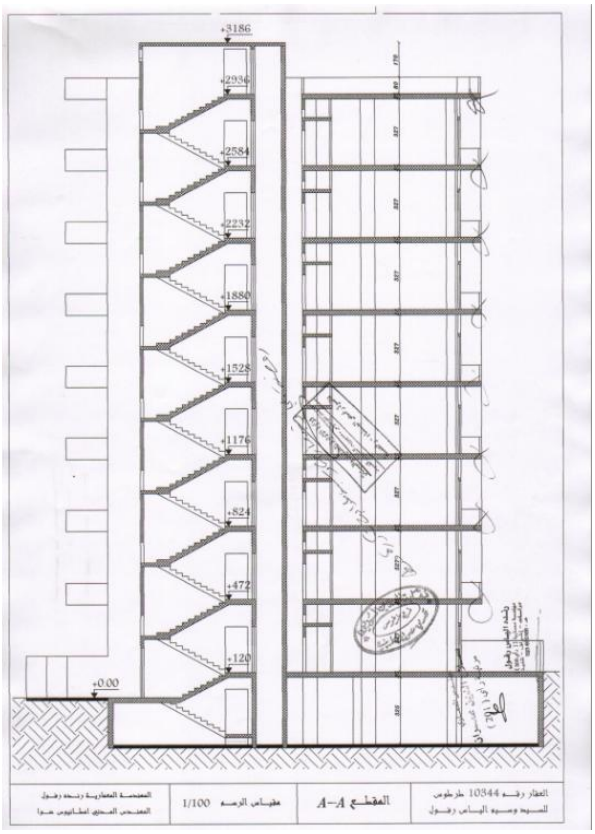
Façade Nord



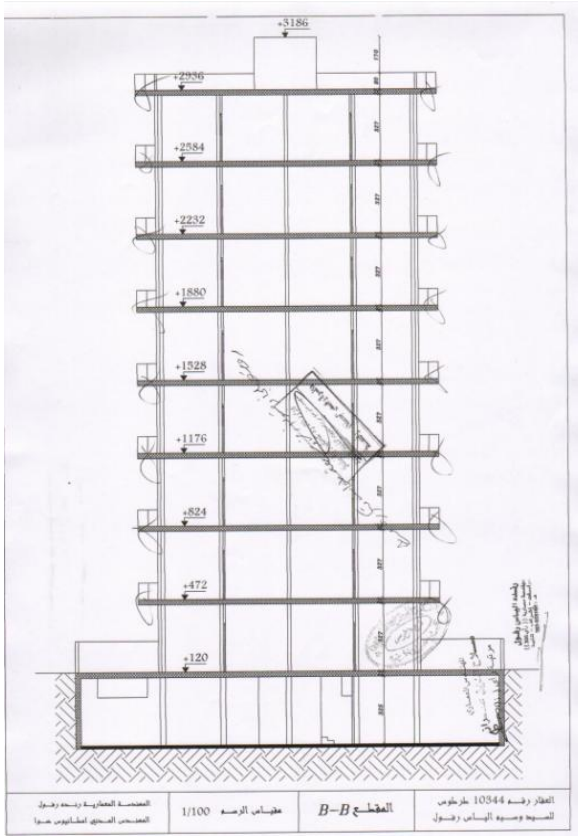
Façade sud



Section A-A

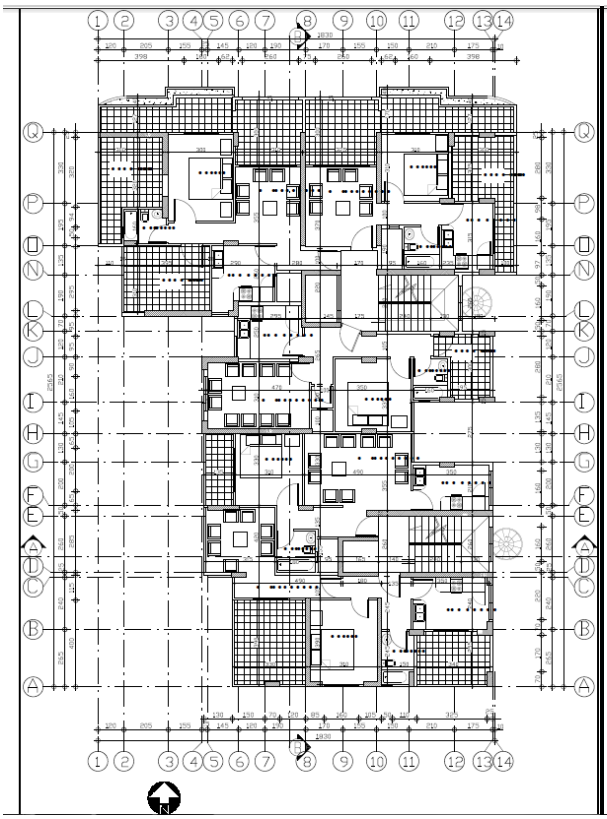


Section B-B

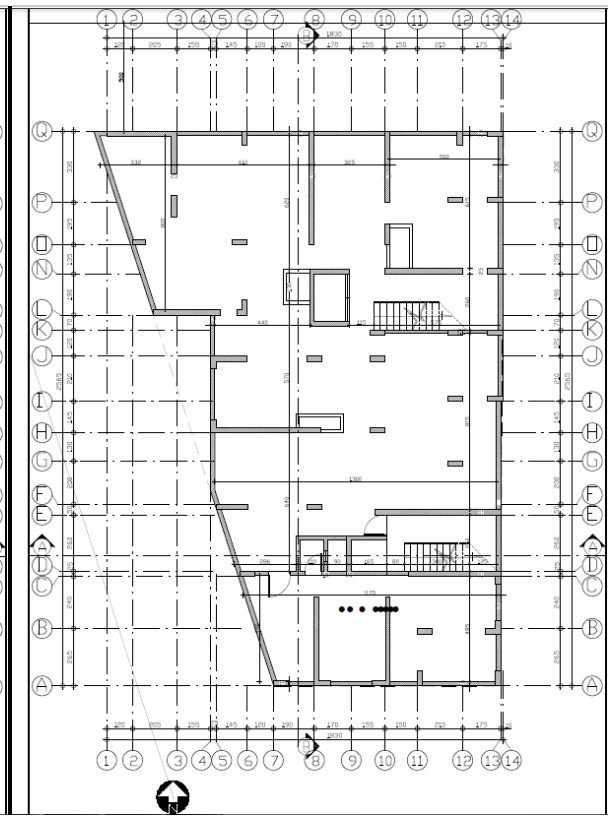


2- Bâtiment de 7 étages

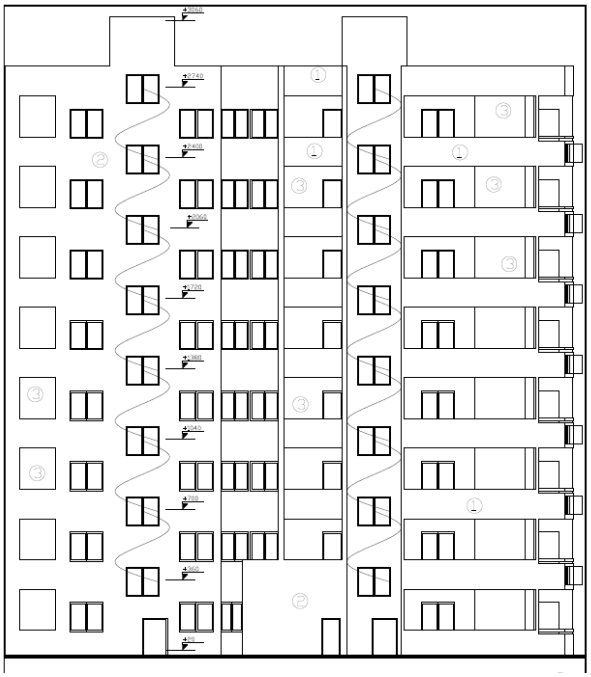
Etage courant



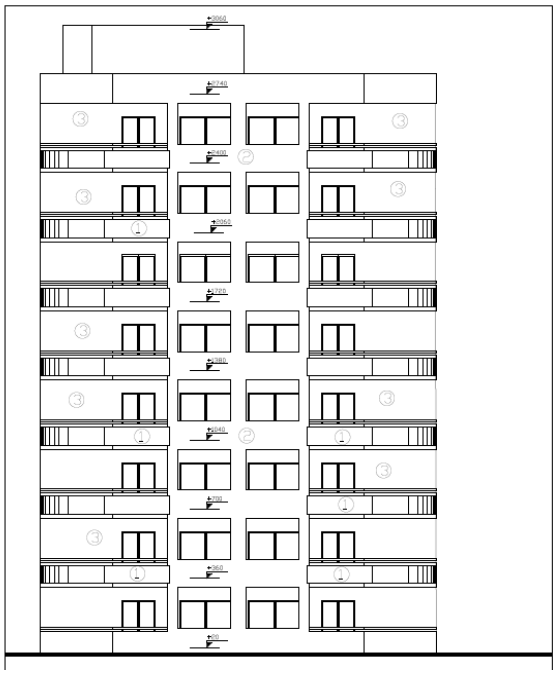
Sous-sol



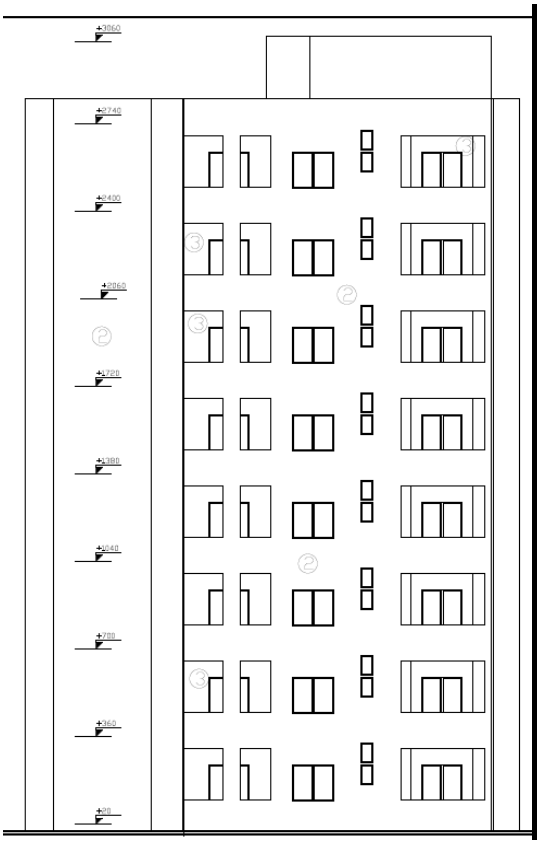
Façade Est



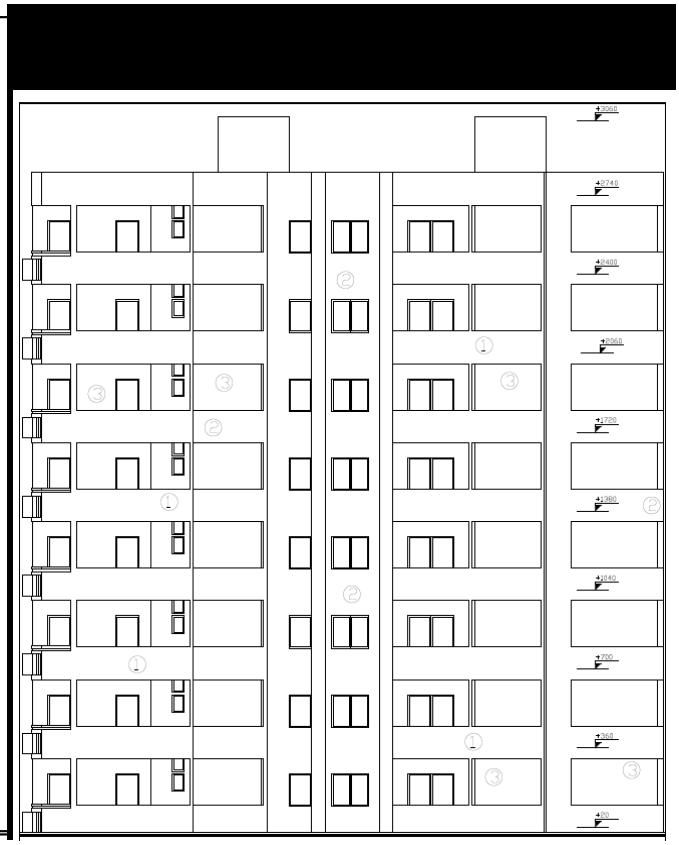
Façade nord



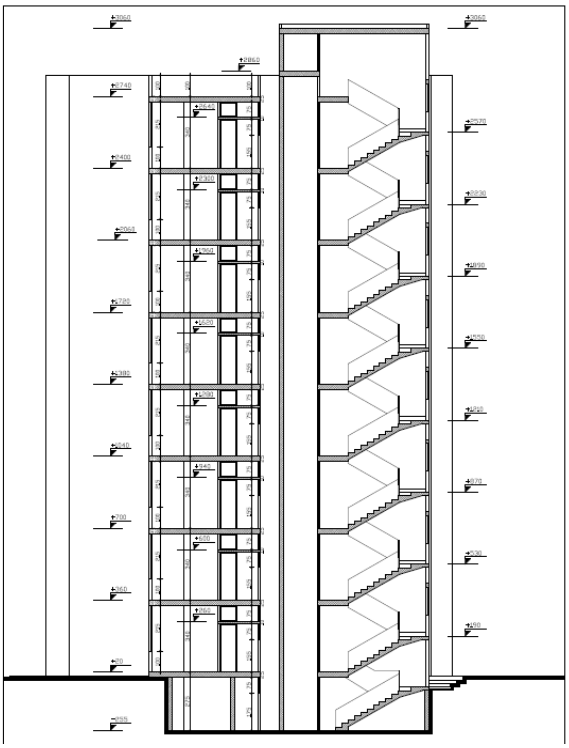
Façade sud



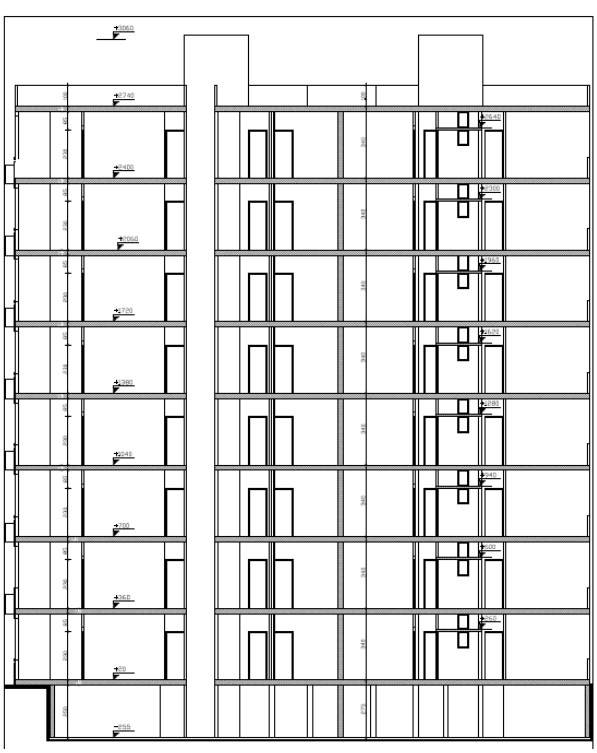
Façade Ouest



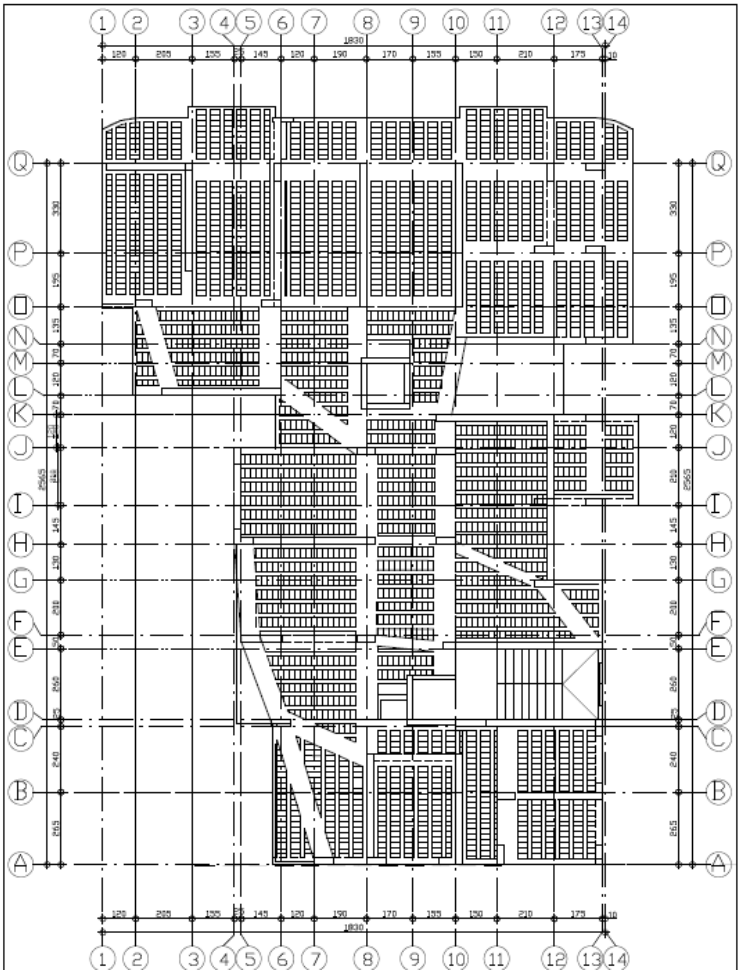
Section A-A



Section B-B

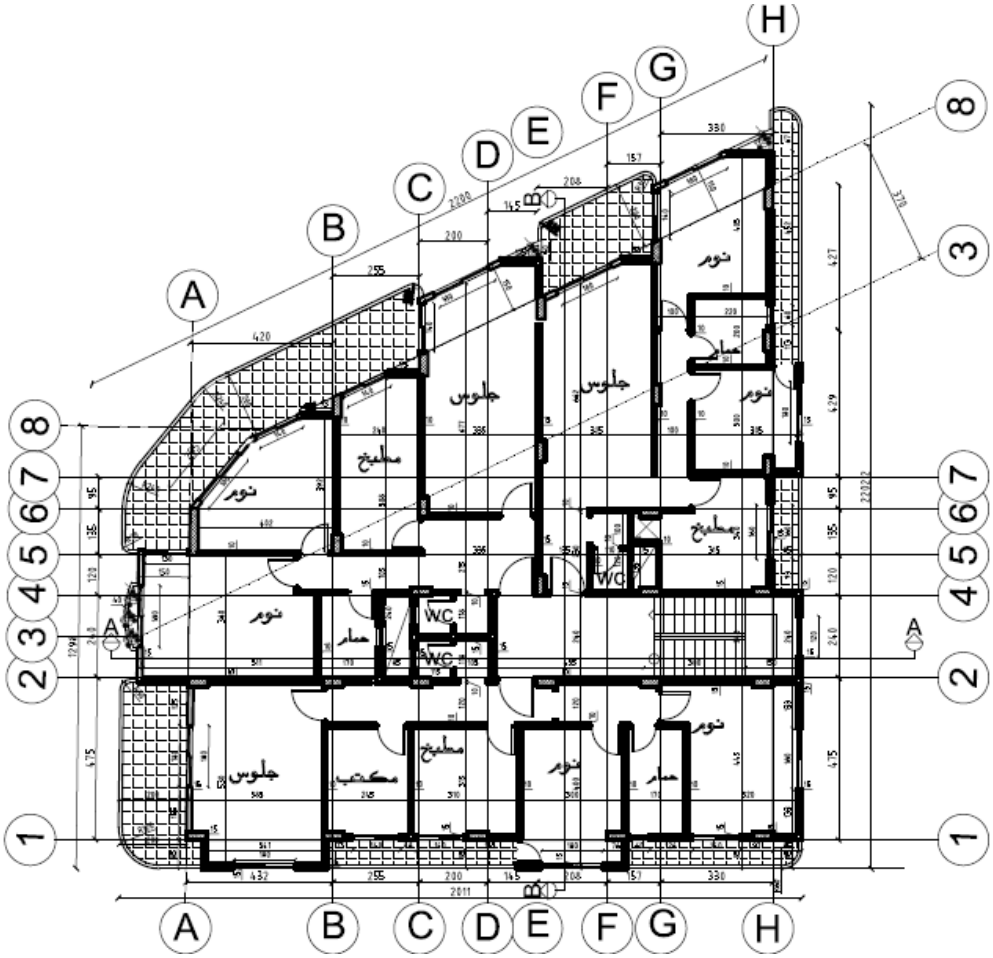


Plancher d'étage courant (hording)

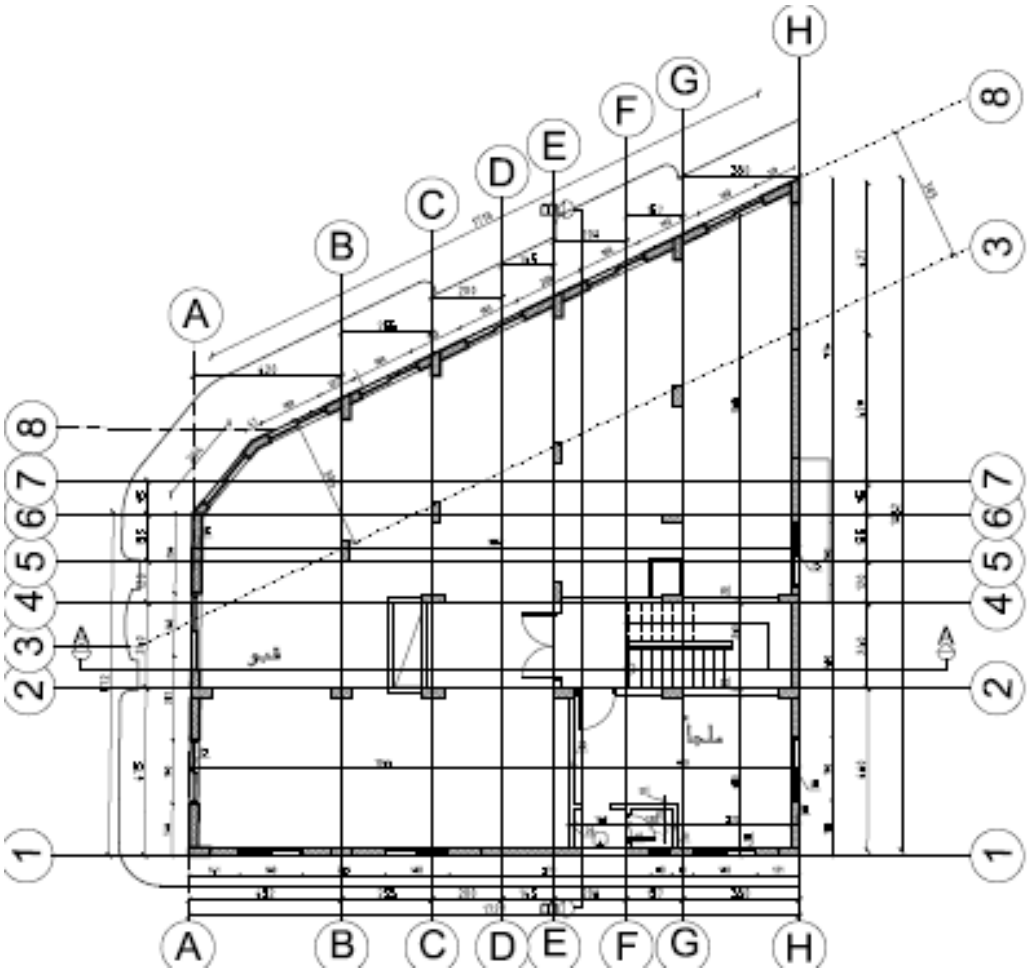


3- Bâtiment de 4 étages :

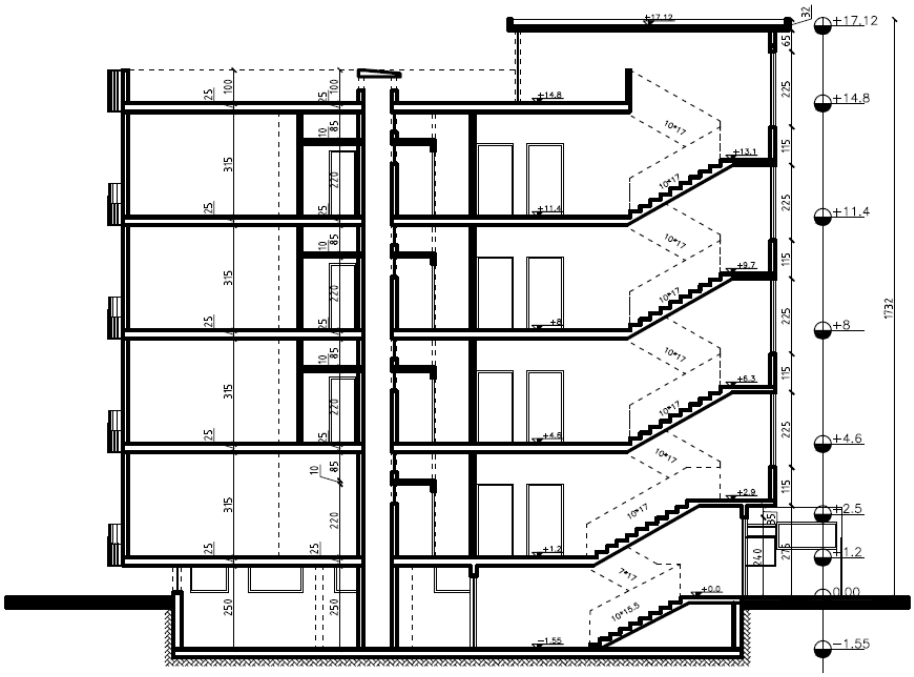
Etage courant



Sous-sol

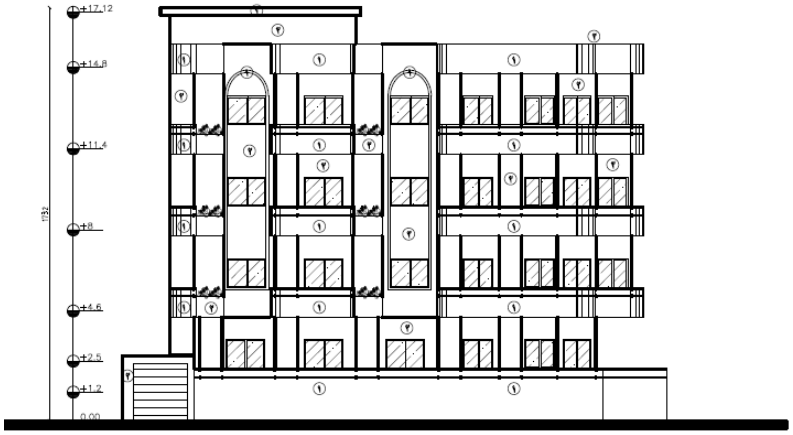


Section A-A



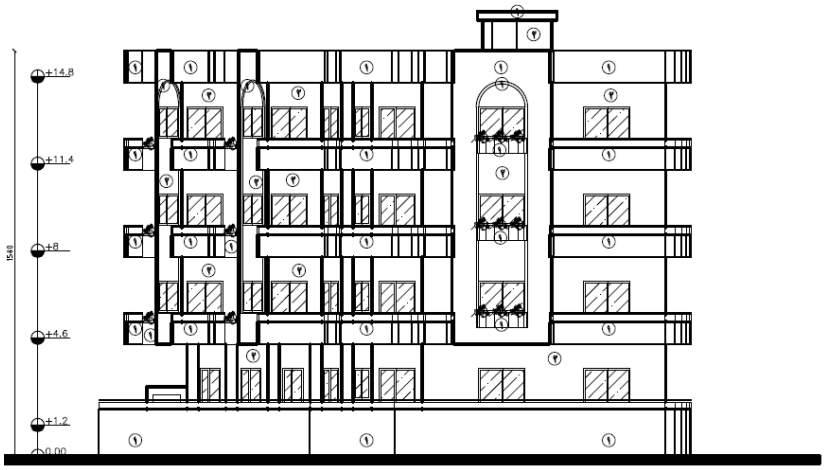
Façade Nord

الرمز	المدلول
١	حجر رخيباني مجلي
٢	دهان موبلكسين لون زهري



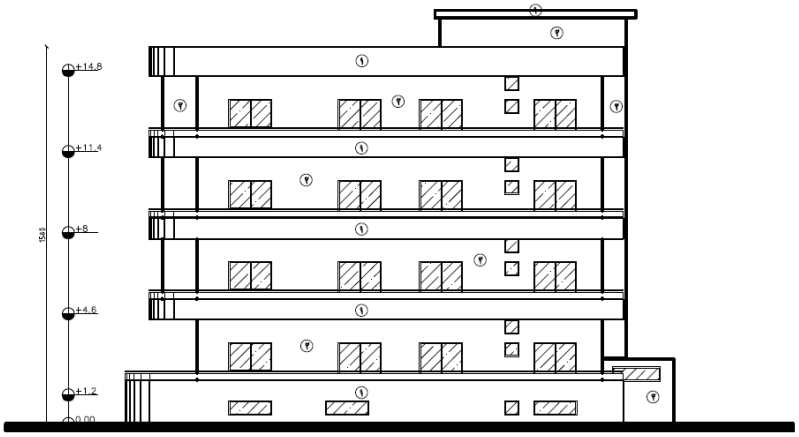
Façade Ouest

الرمز	المدلول
١	حجر رخيباني مجلي
٢	دهان موبلكسين لون زهري



Façade Sud

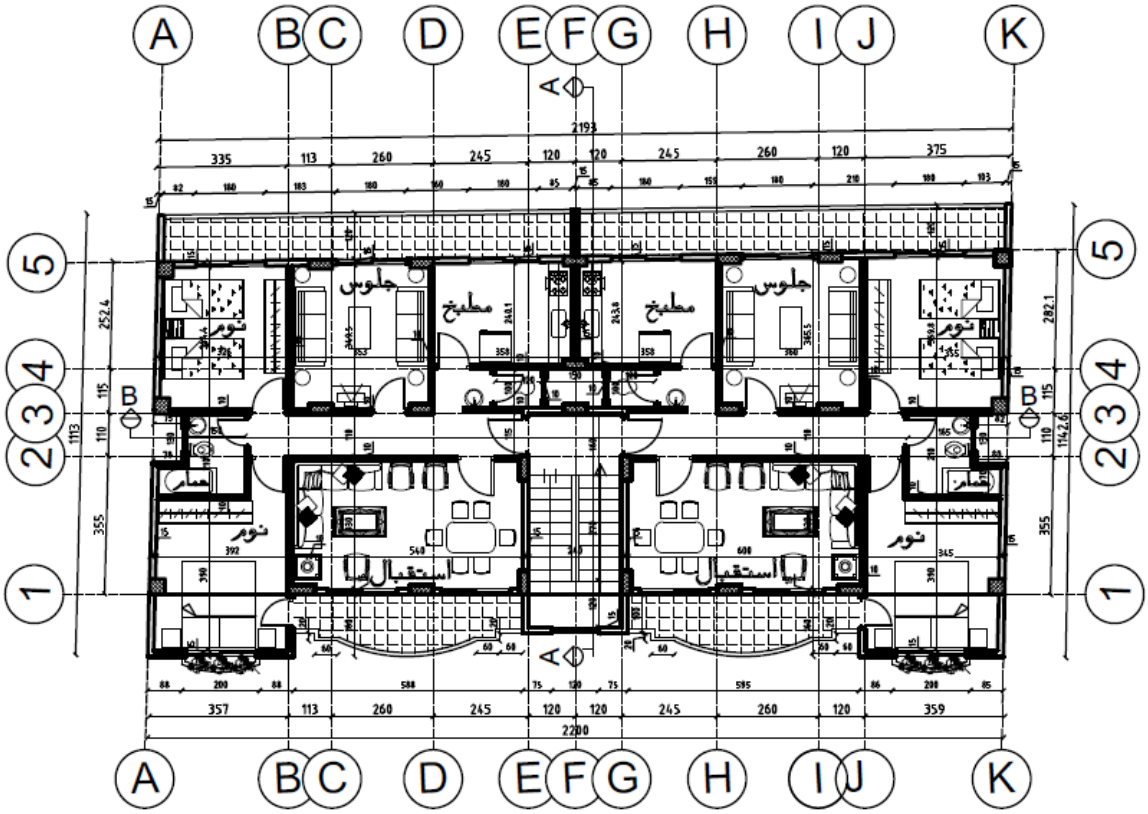
الرمز	المدلول
١	حجر رخيباني مجلي
٢	دهان موبلكسين لون زهري



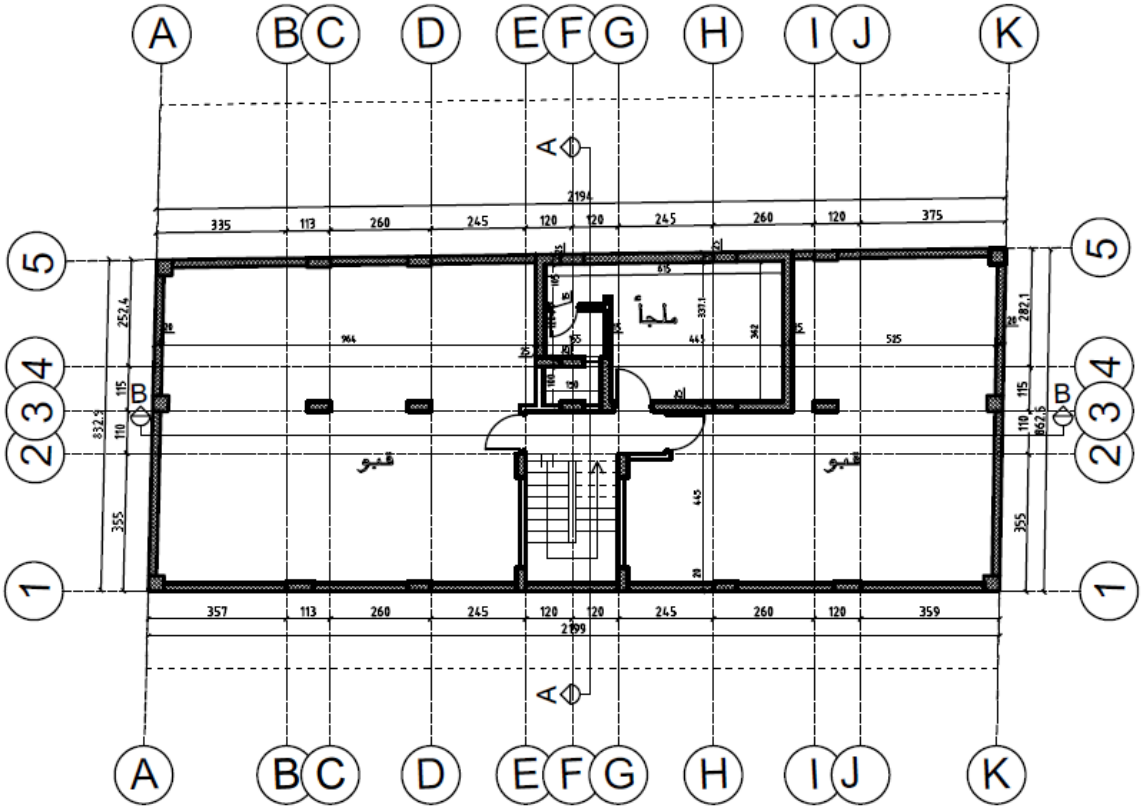
4- Bâtiment 4 étages :

Façade Est

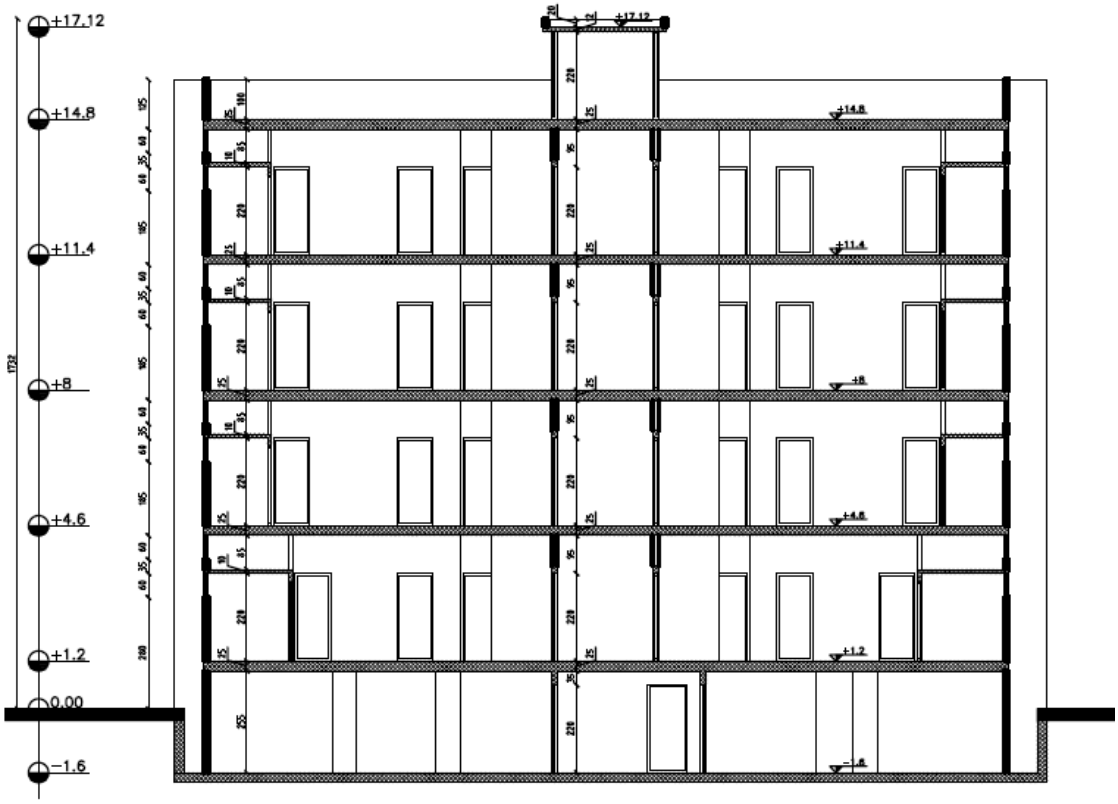
Etage courant



Sous-sol

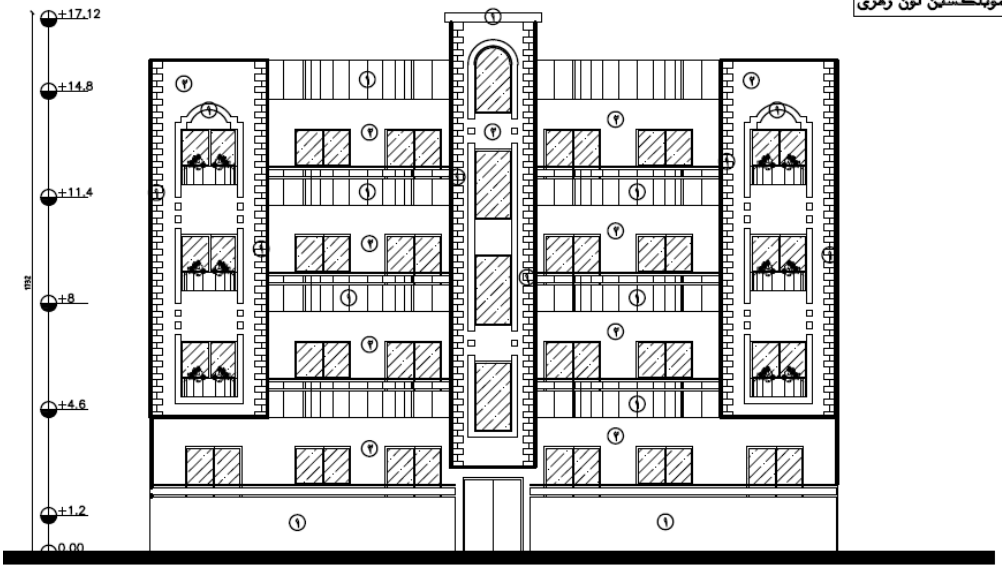

A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
1
2
3
4
5
335
113
260
245
120
120
245
260
120
375
357
113
260
245
120
120
245
260
120
359
2194
2199
964
535
445
ملجأ
قبو
قبو

Section B-B


+17.12
+14.8
+11.4
+8
+4.6
+1.2
0.00
-1.6

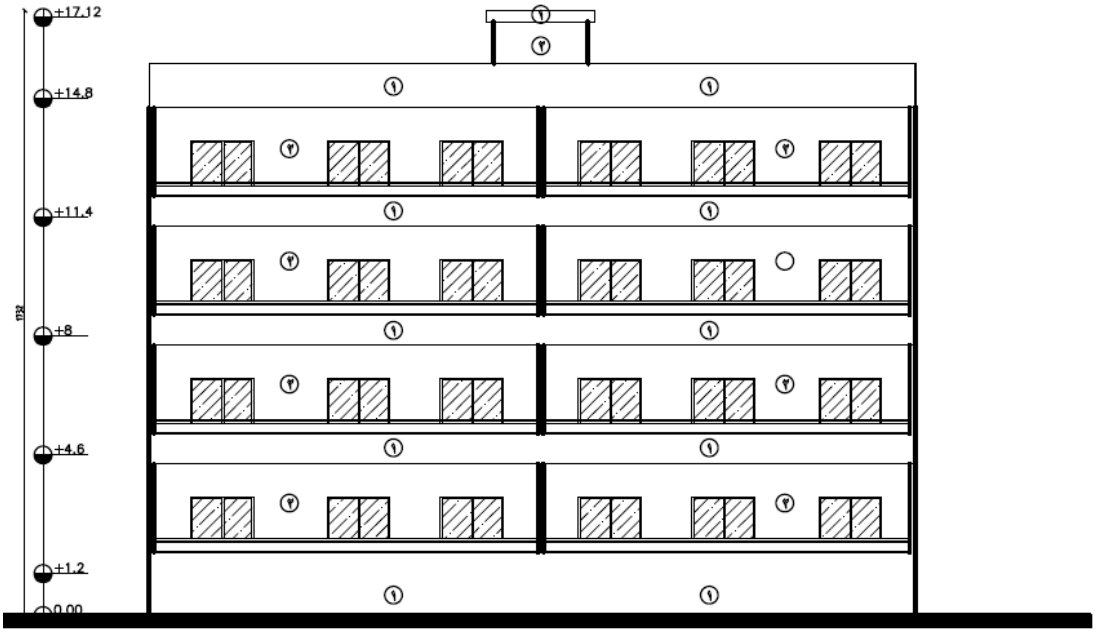
Façade Est

الرمز	المدلول
۱	حجر رحيبانى مجلى
۲	دهان موبلكسين لون زهرى



Façade Ouest

الرمز	المدلول
۱	حجر رحيبانى مجلى
۲	دهان موبلكسين لون زهرى



ANNEXE 1B, Enquête sur la consommation énergétique dans les bâtiments résidentiels

Enquête énergétique

Merci de répondre à ces questions en libre choix

Date de réponse
Nome et prénome
seve
âge
Activité professionnelle
Type de logement
nombre des pièces
Surface habitable
Nombre des habitants
Y a-t-il des balcons? Et combien:

1- Confrot thermique en hiver et en été

	Confortable	Peu confortab	Inconfortable	très inconfortable
Saisone d'hiver				
Sainone d'été				

2- Réaction sur l'orientation, isolation thermique et étanchiété de résidence :

Quelle est l'orientation de votre sejour:
Quelle est l'orientation de votre Chambre:
Quelle est votre réaction en hiver et en été
Est que votre résidence est isolée :
Est que votre résidence est étanche pour l'aire et les bruits:

3- Système de chaffage en hiver

Avez-vous une système de chauffage :
Centrale
Individuelle
Type d'énergie utilisée (Mazoute, èlèctricité, gaz, etc) et les unitées dans les pièces
Temperature de conigne souhaiter

	Sejour	Chambre 1	Chambre 2	Chambre 3	Entrée	Cuisine	SDB & WC
Les pièces chauffées							
Type d'énergie							
Périod d'utilisation 11;12;01;02;03;04;05							
Heurs par jour							

Avis sur votre système de Chauffage :

Satisfaire	
Non satisfaire	
Peu satisfair	

4- Système de Climatisation en été

Avez-vous une système de climatisation :
Centrale
Individuelle
Temperature de conigne souhaiter

	Sejour	Chambre 1	Chambre 2	Chambre 3	Entrée	Cuisine	SDB
Les pièces Climatisées							
Type d'énergie							
Périod d'utilisation 06;07;08;09;10							
Heurs par jour							

Avis sur votre système de climatisation
Satisfaire
Non satisfaire
Peu satisfair

5- Système d'eau chaude sanitaire :

Avez-vous une système de ECS :
Les type d'énergie utilisée (Mazout, éléctricité, solaire, etc.)
Volume de votre ballons d'eau chaude:
Période d'utilisation :
En hiver, combien d'heurs par jours:
En été, combien d'heurs par jours:
Temperature de conigne souhaiter

6- Les facture énergétique:

Quelle est les montants de votre consommations énergétiques :
électricité:
Mazoute:
Gaz

Vous sentez que vos factures sont :
Très lourd
Lourd
Correct
Légé
Très Légé

Les résultats des questionnaires

Personne	Sexe	âge	Activité professionel	Type de logement	Surface d'habitation	Nombre des pièces	N° d'habitants	N° des balcon	Sensation hiver	Sensation été	Orientation séjour	Orientation chambre	Réaction hiver	Réaction été	isolation	Planchéité (bruit, aire)
1	F	51	Enseignante	A	129	4	5	2	P	I	S	N	ch	Vent	N	N
2	F	31	Enseignante	A	115	4	3	2	P	I	S	N	ch	Vent	N	N
3	F	29	Enseignante	A	132	4	3	3	P	TI	S	N	ch	Vent	N	m
4	F	35	Ingénieur	A	120	4	3	2	P	TI	S	N	ch	Vent	N	N
5	F	36	Ingénieur	A	117	4	4	2	I	I	S	N	ch	Clim	N	m
6	F	36	Ingénieur	A	117	4	4	2	I	I	E	O	ch	Vent	N	N
7	F	38	Ingénieur	A	121	4	2	2	I	I	E	O	ch	Vent	N	m
8	F	39	Ingénieur	A	122	4	4	2	I	I	E	O	ch	Vent	N	m
9	F	41	Technicien	A	132	4	5	2	I	I	E	O	ch	Vent	N	N
10	F	43	Enseignante	A	117	4	5	2	I	I	E	O	ch	Vent	N	m
11	F	55	employée	A	120	4	5	2	I	I	N	S	ch	Clim	N	m
12	F	52	employée	A	120	4	4	2	I	I	O	N	ch	Clim	N	m
13	F	22	employée	A	125	4	3	2	I	I	N	O	ch	Clim	N	m
14	F	33	employée	A	139	4	4	2	P	I	E	O	ch	Clim	N	m
15	F	37	employée	A	133	4	3	2	P	I	E	S	ch	Clim	N	N
16	F	38	cadre	A	120	3	3	3	P	I	E	S	ch	Clim	N	m
17	F	44	cadre	A	117	4	5	1	P	I	E	N	ch	Clim	N	m
18	F	19	étudiante	A	122	4	4	2	P	I	O	E	ch	Clim	N	N
19	F	20	étudiante	A	122	4	4	2	P	I	N	E	ch	Clim	N	N
20	F	38	Technicien	A	131	4	4	2	I	I	N	E	ch	Clim	N	N
21	H	45	Technicien	A	111	3	5	1	I	I	E	O	ch	Clim	N	m
22	H	39	Technicien	A	132	4	4	2	I	I	O	E	ch	Clim	N	m
23	H	54	Technicien	A	124	4	5	2	I	I	O	E	ch	Clim	N	m
24	H	55	Ingénieur	A	167	5	5	3	C	P	O	E	ch	Clim	N	m
25	H	59	Ingénieur	A	154	5	4	3	I	P	O	E	ch	Clim	N	N
26	H	57	Ingénieur	A	172	6	6	3	C	P	O	E	ch	Clim	N	m
27	H	54	Ingénieur	A	158	5	5	3	P	P	O	E	ch	Clim	N	N
28	H	55	Ingénieur	A	155	5	5	3	P	P	O	E	ch	Clim	N	N
29	H	28	Enseignant	A	121	3	4	2	I	I	O	E	ch	Vent	N	N
30	H	67	retraité	A	160	5	5	3	P	P	O	E	ch	Clim	N	O
31	H	66	retraité	M	190	7	6	4	C	C	OS	E	ch	Clim	O	O
32	H	65	retraité	M	210	7	5	4	C	C	OS	E	ch	Clim	O	O
33	H	68	retraité	A	178	6	5	3	C	C	O	E	ch	Clim	N	O
34	H	43	Enseignant	A	123	4	4	3	I	I	S	N	ch	Vent	N	m
35	H	44	cadre	A	143	4	4	3	P	P	S	N	ch	Clim	N	m
36	H	41	cadre	A	143	4	4	3	P	P	S	N	ch	Clim	N	m
37	H	39	cadre	A	143	4	4	3	I	I	S	E	ch	Clim	N	m
38	H	33	cadre	A	127	4	3	2	I	I	S	N	ch	Clim	N	N
39	H	20	étudiant	A	132	4	4	2	TI	TI	S	N	ch	Vent	N	N
40	H	22	étudiant	A	118	4	4	2	I	I	S	N	ch	Clim	N	N
41	H	21	étudiant	A	163	5	4	3	I	I	S	N	ch	Clim	N	N
42	H	20	étudiant	A	142	5	5	3	TI	TI	S	N	ch	Vent	N	N
43	H	19	étudiant	A	134	4	5	2	I	I	O	E	ch	Clim	N	N
44	H	30	Chômeur	A	91	3	4	2	TI	TI	S	E	ch	Vent	N	N
45	H	32	Chômeur	A	105	3	3	2	I	I	O	E	ch	Clim	N	N
46	H	34	Chômeur	A	95	3	4	2	I	I	O	E	ch	Clim	N	N
47	H	38	Commerçant	A	172	6	5	3	I	P	O	E	ch	Clim	N	m
48	H	40	Commerçant	A	142	5	5	2	I	I	S	N	ch	Clim	N	m
49	H	41	Commerçant	A	138	4	5	2	P	P	S	E	ch	Clim	N	m
50	H	43	Commerçant	A	138	4	5	2	P	P	S	E	ch	Clim	N	m

Personne	Type d'énergie chauffage	Température souhaité H	Pièces chauffées	Avis sur le système de chauffage	Avis sur le système de chauffage	Système de climatisation	Type d'énergie	Température souhaité	Pièces climatisées	Avis sur le système de Climatisation	Système d'ECS- Type d'énergie	Volume de ballon utilisé	Période d'utilisation en hiver	Période d'utilisation en été	Température souhaité	Avis sur le facture énergétique total
1	MZ	20	3	S	S	-	E	26	-	S	El	100	3	3	50	M
2	MZ	20	3	S	S	-	E	25	-	S	El	200	3	2	40	M
3	MZ	22	3	S	S	-	E	26	-	S	M	100	3	3	50	L
4	MZ	22	3	S	S	-	E	26	-	S	El	100	3	1	40	M
5	Eléc	20	2	PS	S	1	E	26	Ch	PS	El	200	3	2	40	L
6	Eléc	20	3	PS	S	-	E	25	-	PS	El	100	3	3	40	L
7	MZ	20	2	PP	S	-	E	26	-	PP	M	200	3	3	40	M
8	MZ	20	3	PS	S	-	E	26	-	PS	M	100	3	4	40	M
9	MZ	20	2	PS	S	-	E	27	-	PS	M	200	3	3	40	L
10	MZ	20	2	PS	S	-	E	27	-	PS	M	200	2	1	60	M
11	MZ	20	2	PS	S	1	E	26	Ch	PS	El	200	3	3	60	L
12	MZ	20	3	PS	S	1	E	27	S	PS	El	100	2	1	60	L
13	MZ	20	3	PS	S	1	E	26	Ch	PS	El	100	3	2	50	M
14	MZ	20	3	S	S	1	E	26	S	S	El	100	3	3	50	L
15	MZ	20	3	S	S	1	E	26	S	S	M	200	3	3	50	L
16	MZ	20	2	S	S	1	E	27	S	S	M	200	3	3	40	L
17	MZ	20	3	S	S	1	E	26	S	S	El	200	3	2	40	M
18	MZ	20	3	S	S	1	E	26	S	S	El	200	3	2	40	L
19	MZ	20	3	S	S	1	E	27	S	S	El	200	2	2	40	M
20	MZ	20	2	PS	S	1	E	26	S	PS	M	200	2	2	40	L
21	MZ	20	2	PS	S	1	E	27	S	PS	M	200	2	2	40	M
22	MZ	20	3	PS	S	1	E	27	Ch	PS	M	200	3	3	60	T.L
23	Eléc	20	3	PS	S	1	E	26	S	PS	M	200	3	3	50	L
24	MZ	20	4	S	S	2	E	23	S/Ch	S	S	200	3	3	60	Lg
25	MZ	20	4	PS	S	1	E	26	ch	PS	El	100	2	1	50	M
26	MZ	20	4	S	S	2	E	23	S /ch	S	El	200	2	2	50	L
27	MZ	20	4	PS	S	1	E	27	ch	PS	El	100	2	2	50	L
28	MZ	20	4	PS	S	1	E	26	Ch	PS	El	100	2	2	50	M
29	Eléc	20	3	PS	S	-	E	26	-	PS	El	100	3	3	40	T.L
30	MZ	22	4	PS	S	2	E	26	S /ch	PS	C	200	3	3	40	Lg
31	PAC	24	7	S	S	3	E	25	S /2ch	S	El/S	200	4	5	70	T.lg
32	Cent	23	7	S	S	3	E	25	S /S /ch	S	El	200	4	4	70	T.lg
33	MZ	25	5	S	S	2	E	25	S /ch	S	El	200	3	3	60	Lg
34	MZ	20	3	PS	S	-	E	26	-	PS	El	100	3	3	40	L
35	MZ	20	3	S	S	1	E	26	Ch	S	El	200	3	2	40	L
36	MZ	20	3	PS	S	1	E	26	Ch	PS	M	200	3	2	40	M
37	MZ	20	3	PS	S	1	E	26	Ch	PS	M	100	3	2	40	M
38	MZ	20	3	PS	S	1	E	26	Ch	PS	M	100	4	2	40	M
39	Eléc	20	3	IS	S	-	E	26	-	IS	M	200	3	3	40	M
40	MZ	20	3	PS	S	1	E	26	Ch	PS	M	200	3	2	40	T.L
41	MZ	20	2	PS	S	1	E	27	Ch	PS	El	200	4	3	50	T.L
42	Eléc	20	4	IS	S	-	E	27	-	IS	El	200	3	3	60	T.L
43	MZ	18	4	IS	S	1	E	27	S	IS	El	200	3	2	50	T.L
44	Eléc	20	3	IS	S	-	E	26	-	IS	El	100	3	2	40	T.L
45	Eléc	20	3	PS	S	1	E	26	Ch	PS	El	100	3	2	40	T.L
46	Eléc	20	3	PS	S	1	E	26	S	PS	El	100	3	2	50	T.L
47	MZ	20	4	PS	S	1	E	26	S	PS	El	100	3	2	50	M
48	MZ	20	4	PS	S	2	E	22	S /Ch	PS	M	200	3	3	40	M
49	MZ	20	4	PS	S	1	E	26	Ch	PS	M	200	3	3	40	Lg
50	MZ	18	3	PS	S	1	E	26	S	PS	M	200	3	3	40	Lg

Horaires d'utilisation de chauffages dans un journée d'hiver :

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
4	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
5	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
6	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
7	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
8	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
9	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
10	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
11	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
12	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
13	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
16	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
17	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X
18	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
19	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
20	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
22	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
23	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X
25	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
26	X	X	X		-	-	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X
27	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
28	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
29	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
30	X	X	X	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
31	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
32	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
33	X	X	X		-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
34	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
35	X	X	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
36	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
37	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
38	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
39	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
47	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X
48	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
49	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
50	X	X	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Horaires d'utilisation de climatisation dans un journée d'été dans les habitation utilisent les appareils de clim:

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
12	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-
15	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
16	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
17	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	-
19	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
20	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
22	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
23	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
25	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
26	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
27	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
28	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
31	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
32	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
33	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
36	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
37	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
38	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
41	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	-	-
47	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X
48	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
49	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
50	X	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

– Annexe2 (Les Labels)

Label BREEAM est caractérisé par les éléments de la certification, du référentiel et des exigences qui sont présentés dans les tableaux suivants :

Certification/Référentiel/Exigences	
Éléments	**Contenus**
Système de certification	- Axé à l'origine sur l'évaluation des bureaux et sites industriels - étendu ensuite aux maisons individuelles (Eco – homes), aux surfaces commerciales et écoles
Cibles développées	*8 cibles principales pour évaluer la performance du bâtiment* : - gestion management, - efficacité énergétique, - santé et bien-être - pollution (émissions générées), - utilisation du terrain, - matériaux et impact environnemental évalué sur le cycle de vie, - consommation d'eau, - transport
Accréditation/Évaluation	2 modèles de grilles d'évaluation : - une grille pour bâtiments existants (Existing occupied buildings) - une grille pour les bâtiments neufs au stade « conception » (pre-assessment estimator)
	Points ou crédits attribués et cumulables pour atteindre un score global de niveau de performance Pour Eco - Homes : > 36 points : passable, > 48 points : bon, > 58 points : très bon, > 70 points : excellent
	Fixation d'objectifs d'amélioration réalistes, et support efficace pour les stratégies de management des plus grosses entreprises
Outils spécifiques	- Estimateur utilisable en pré - évaluation pour orienter la conception d'un projet (bâtiment neuf ou déjà existant)
	Grilles et méthodes d'évaluation : - Preassesment estimator at design stage (Bâtiments neufs) & Pre-assessment estimator at management and operationnal stage (Existing buildings) pour BREEAM - Grille de cotation et manuels d'utilisation pour Eco-Homes & Eco-Homes XB + grille de préestimation pour simple orientation et évaluation rapide
Approche énergétique 21 points/110	Simulation thermodynamique conforme au CIBSE et attestant un confort thermique satisfaisant, avec la notion de zonage pour le conditionnement d'air
Approche environnementale « matériaux » 12 points/110	Cible dédiée à l'approche : « matériaux » avec critères et évaluation sur le cycle de vie du bâtiment - À = nombre de points maximum (produits et matériaux) - MW03 : possibilité de choix des revêtements sols et peintures en finition - MW05 : réutilisation d'au moins 50 % de matériaux recyclés pour la reconstruction de la façade - présence d'une surface minimum pour le recyclage des matériaux

Les éléments de la certification LEED, du référentiel et des exigences de la démarche de ce label sont résumés dans le tableau suivant.

Certification/Référentiel/Exigences	
Éléments	**Contenus**
Cibles développées	*6 grands thèmes en 34 cibles regroupés par familles* : - durabilité du site, - gestion de l'eau, - énergie et rejets atmosphériques, - matériaux et ressources, - qualité environnementale de l'environnement intérieur, - innovation et conception
Accréditation/Évaluation	34 cibles en 6 grandes familles avec 69 crédits au total
	Accréditation attribuée à partir de 26 points minimum reçus par le bâtiment
	4 niveaux de certification proposés : - Certifie 40 /110 - Argent 50 /110 - Or 60 /110 - Platine 80 /110
Outils spécifiques	6 outils/guides méthodologiques : - NC pour constructions nouvelles - EB pour rénovation sur bâtiments existants - CI pour projets de rénovation intérieure de bâtiment commerciaux - CS pour projets « Core & shell » - H pour habitations individuelles - ND pour espaces publics partagés
Approche énergétique 35 point/110	Conception des systèmes de ventilation, chauffage, conditionnement d'air et enveloppe de bâtiment conforment aux exigences de la norme ASHRAE 55-2004
Approche environnementale « matériaux » 14 points/110	Grand thème : « matériaux et ressources » déclinés en 6 crédits individuels - taille de la maison - matériaux d'encadrement performants - utilisation de ressources locales - plan de durabilité sur enveloppe et systèmes (plan maintenance) - produits à performance environnementale (éco - matériaux) (liste MR5 A, répertoire Green spec)

Les descriptions de la démarche Minergie sont détaillées dans le tableau suivant :

Certification/Référentiel/Exigences	
Éléments	**Contenus**
Priorités (suivant les 3 volets)	Priorités pour Minergie classique : - 5 niveaux d'exigence pour système bâtiment - distinctions entre bâtiment récent (après 1990) et bâtiment ancien (avant 1990) - 12 types de bâtiments concernés (collectifs, individuels, administrations, écoles, commerces, restaurants, hôpitaux, industries, dépôts, installations sportives, piscines couvertes, lieux publics) - Priorités pour Minergie Passif : labellisation pour - bâtiment administratif, - bâtiment collectif, - et habitat individuel - Priorités pour Minergie Éco ; - construction saine et écologique - pas d'utilisation en maison individuelle ou habitat collectif
Cibles développées et exigences énergétiques	***5 cibles de travail pour tous les bâtiments Minergie*** : - confort, - salubrité, - absence de dommages, - consommation d'énergie, - rentabilité. Priorité Minergie pour la performance énergétique : - maximum de 42 kWh/m²/an de SHON pour les constructions neuves, - 80 kWh/m²/an pour les réhabilitations. Priorité Minergie P : - consommations en énergie finale de 30 kWh/m²/an au maximums (habitat collectif et individuel), - et 25 kWh pour les bâtiments administratifs.
Accréditation/Évaluation	- L'accréditation par l'office de certification Minergie. - Premier certificat provisoire, valable pour 3 ans (construction en cours) -Certificat définitif obtenu sur déclaration d'achèvement des travaux. - Le label « Minergie » délivrable sur plaquette en aluminium est valable pour 5 ans.
Outils spécifiques	Guides méthodologiques
Approche environnementale « matériaux »	- Oui, avec le label Minergie Éco. - Pas de bilan énergétique (énergie grise) pour la prescription des matériaux (ex d'isolation).

Les descriptions de la démarche Passiv'hauss sont détaillées dans le tableau suivant :

Certification/Référentiel/Exigences	
Éléments	**Contenus**
Priorités (suivant les 3 volets)	Priorités pour Passivhaus : - certification label faisant référence à un standard de construction de maisons basse énergie (ambiance intérieure confortable en hiver et en été, sans système conventionnel de chauffage ou de ventilation),
Cibles développées	Principales cibles développées : - la réduction des pertes de chauffage par transmission (isolation des planchers, murs, toits, menuiseries et réduction des ponts thermiques), - la réduction des pertes par ventilation (étanchéité et récupération d'énergie sur l'air extrait), - les gains en chaleur « passive » ou apports gratuits du soleil relevant directement du type de conception utilisé (conception bioclimatique, maison « solaire », la ventilation, l'efficacité des consommations domestiques et les sources d'énergies renouvelables.
Accréditation/Évaluation	Une fois la construction terminée, le requérant doit fournir : -la vérification de l'étanchéité à l'air - les données concernant l'ajustement du système de ventilation, - Une déclaration du maître d'œuvre et au moins une photographie du bâtiment.
Outils spécifiques	- Guide d'aide à la conception de bâtiments « passifs », - et logiciel PHPP (Passive House Planning Package) 2007 pour affiner les simulations et calculs.
Approche énergétique « Obligatoire »	Les critères énergétiques du label « passiv'haus » : consommation maximale d'énergie pour le chauffage, la ventilation et le rafraîchissement des bâtiments «Passiv'hauss» :- 15 kWh/m²/an en énergie finale (compteur) pour le chauffage, - 50 kWh/m²/an en énergie finale pour le chauffage (15 kWh)/Eau chaude sanitaire/Ventilation/électricité annexe (-80 % de consommations par rapport à une construction neuve traditionnelle).
Approche environnementale « matériaux »	- Oui, mais uniquement via la cible «performance énergétique ». - Les niveaux de performance « thermique » des matériaux d'isolation, composants structurels des murs, menuiseries, systèmes de ventilation sont extrêmement importants.
Certification possible	Oui label maison passive disponible pour les bâtiments collectifs et individuels, mais aussi non habités

Cette démarche HQE est caractérisée par les éléments de la certification, du référentiel et des exigences qui sont présentés dans le tableau suivant :

Certification/Référentiel/Exigences	
Éléments	**Contenus**
Cibles développées	14 cibles du SMQE « DEQE » scindé en 4 familles : - éco – construction : matériaux - éco – gestion : énergie, eau, déchets, entretien/maintenance - confort : hygrothermique, acoustique, visuel, olfactif - santé : conditions sanitaires, qualité air/eau/
	Cible énergétique : - obtention d'un label de haute performance énergétique dans les certifications HQE - fixation d'un niveau minimal (label de haute performance énergétique) pour la cible énergie de HQE
Accréditation/Évaluation	- Évaluation centrée sur le déroulement du système de management environnemental (SME)
	- Accréditation/certification sur la démarche NF HQE bâtiments tertiaires et maisons individuelles
	3 niveaux de certification proposés pour la certification : 3 cibles (très performant) 4 cibles (performant) 7 cibles (base)
Outils spécifiques	SME et DEQE disponibles en téléchargement
Approche énergétique Obligatoire	Cible 4, obligatoirement doit être atteinte un niveau performant ou très performant.
Approche environnementale « matériaux »	- Cible n°2 : « choix intégré des produits et matériaux de construction » - Correspondance et interaction avec d'autres cibles comme : « chantier à faible nuisance », « qualité de l'air »

– Annexe3 (Les saisies des données pour l'appartement de Bierut)

Les données météo Bierut (Meteonorm)

BEIRUT LE
Location name

33.87 Latitude [°N] | 35.5 Longitude [°E]

0 Altitude [m a.s.l.] | IV, 1 Climate region

Standard Radiation model | Standard Temperature model | Perez Tilt radiation model

2000–2009 Temperature period | 1986–2005 Radiation period

Additional information

Uncertainty of yearly values: Gh = 4%, Bn = 7%, Ta = 0.5 °C
Trend of Gh / decade: -
Variability of Gh / year: 3.7%
Radiation interpolation locations: Satellite data
Temperature interpolation locations: Bayrouth (6 km), Tripoli (70 km), HAIFA (ISR-AFB) (127 km)

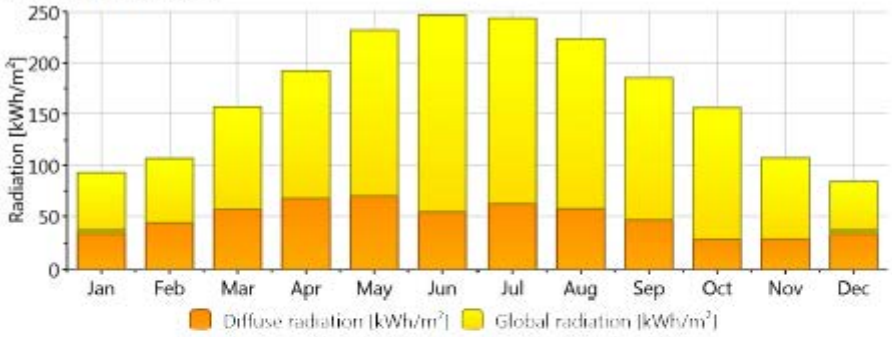
Month	Ta	H_Gh	H_Dh	H_Bn	Sd	Rh	FF
	[C]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[h]	[%]	[m/s]
January	15.2	93	35	132	161	56.5	3.9
February	15.2	107	43	123	173	60.0	4.2
March	16.6	157	57	164	220	62.6	4.0
April	18.6	192	68	185	253	66.6	4.0
May	21.4	232	70	231	323	69.8	3.9
June	24.6	247	55	265	358	72.1	4.0
July	27.2	244	62	257	372	73.0	4.2
August	28.0	224	57	243	354	70.2	3.7
September	27.3	186	46	214	307	61.9	3.7
October	24.8	156	30	230	264	59.2	3.5
November	20.4	107	30	161	209	53.6	3.5
December	17.0	84	35	119	166	56.6	3.7
Year	21.4	2024	587	2325	3160	63.5	3.9

H_Gh: Irradiation of global radiation horizontal
H_Dh: Irradiation of diffuse radiation horizontal
H_Bn: Irradiation of beam
Ta: Air temperature
FF: Wind speed
Rh: Air temperature
SD: Sunshine duration

meteonorm

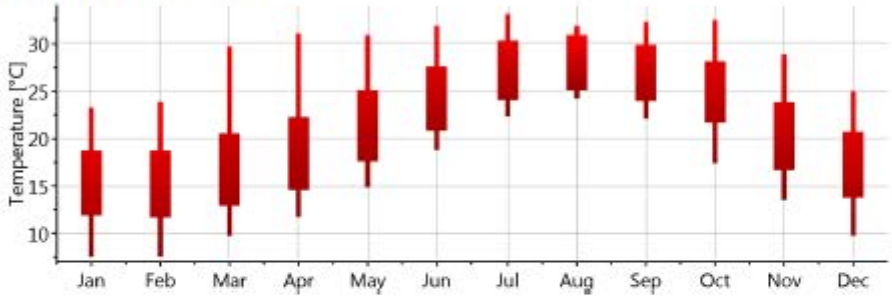
meteonorm V7.0.22.10 1/3

Monthly radiation

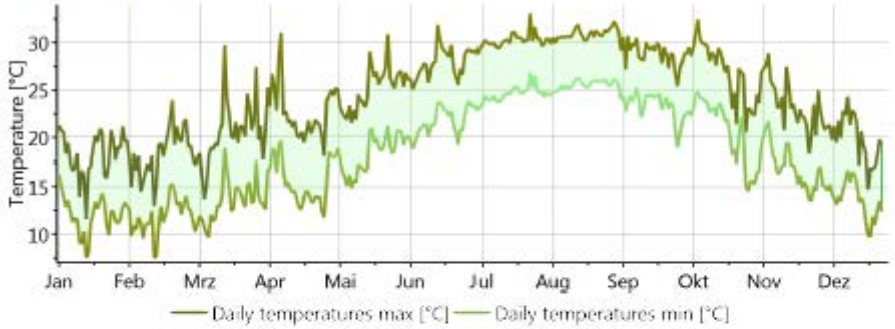


Daily global radiation

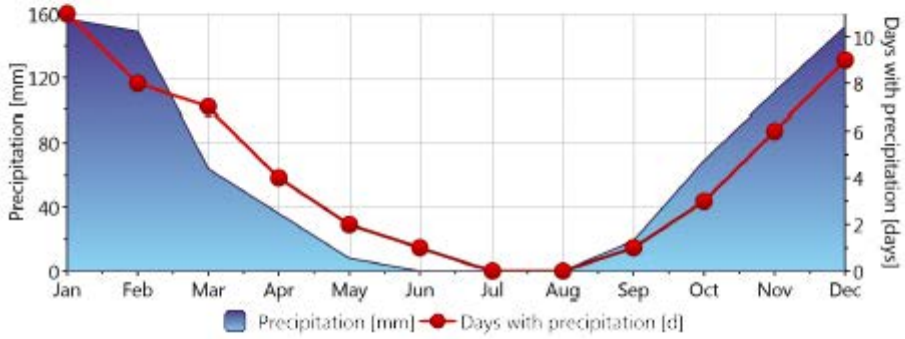
Monthly temperature



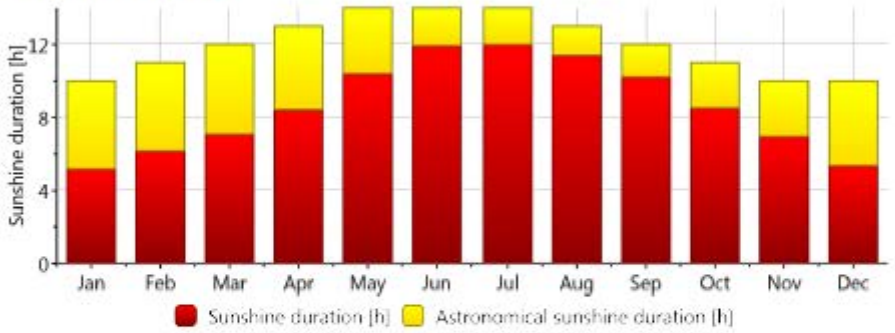
Daily temperature



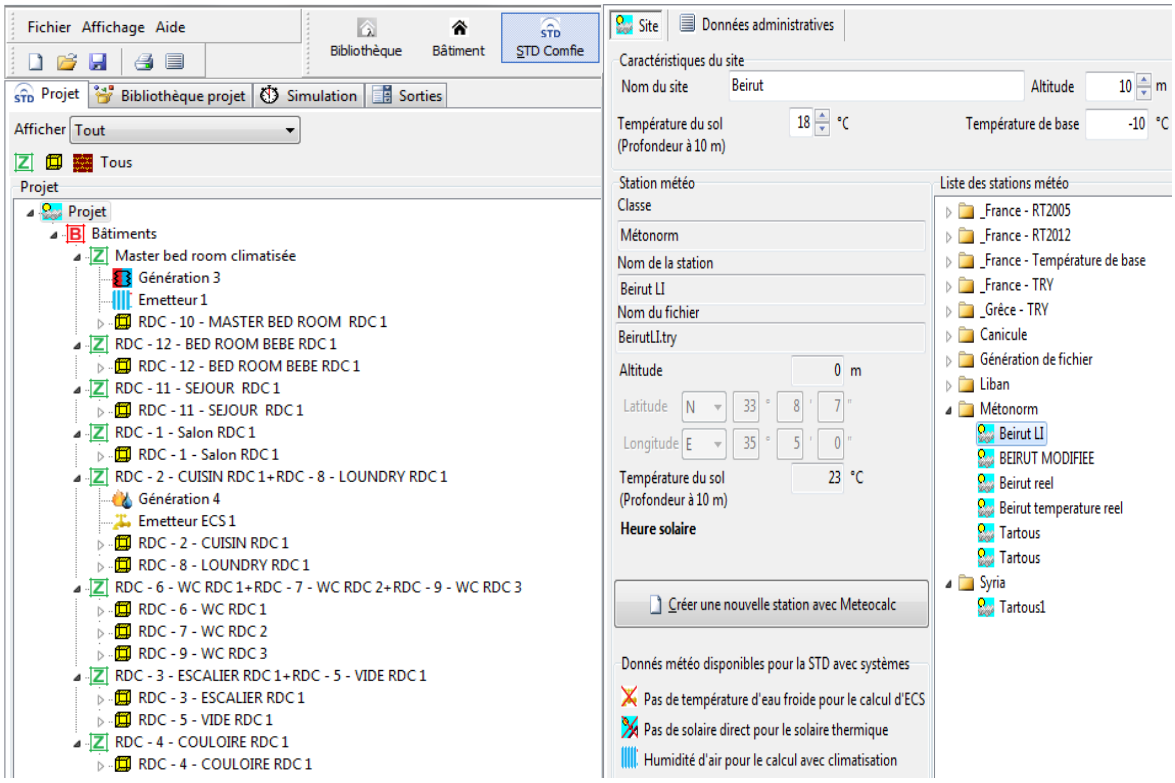
Precipitation



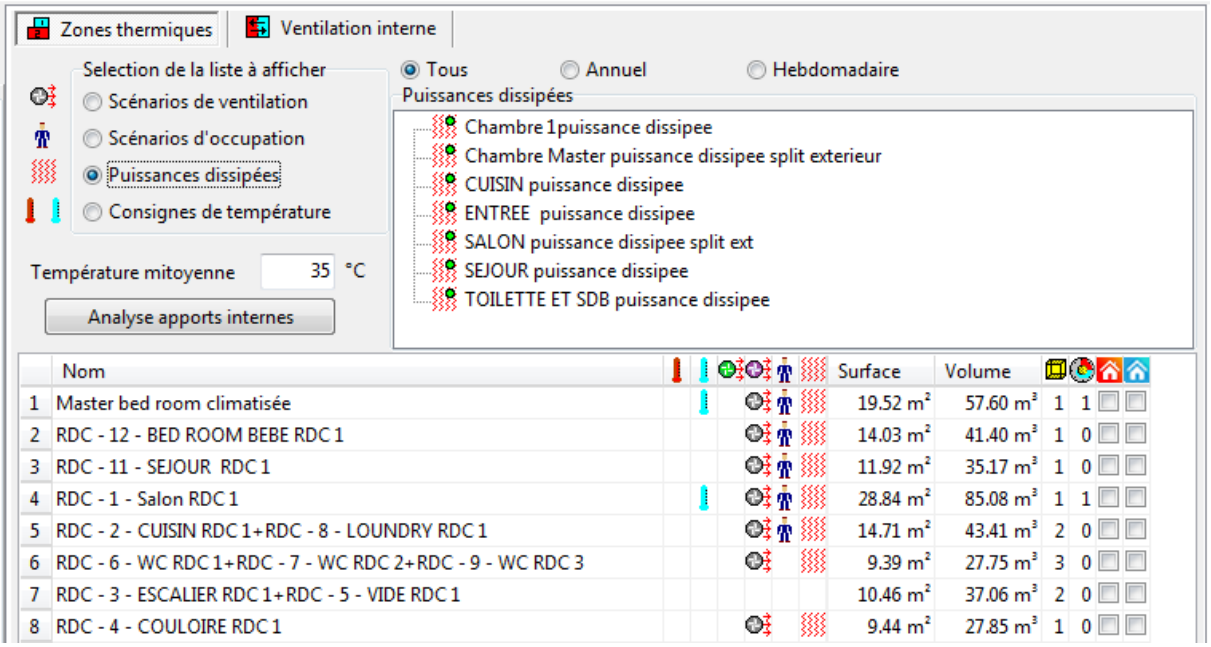
Sunshine duration



Structure de projet (appartement, équipements, météo, etc.)



Les scénarios d’usages :



Les scénarios des puissances dissipées réels et retenus dans les déférentes pièces de l'appartement :

Salon																								
Heur	0_1	1_2	2_3	3_4	4_5	5_6	6_7	7_8	8_9	9_10	10_11	11_12	12_13	13_14	14_15	15_16	16_17	17_18	18_19	19_20	20_21	21_22	22_23	23_24
Lampe spot 20 Watt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	20	20	20
18 Fluorescent 20cm Type TUNGSTRAM 5239 F36W/29-530	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	648	648	648	648	648
Stereo 1100 W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0
Unite split 18000 Btu. 5275w	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total salon	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**668**	**968**	**668**	**668**	**668**
Séjour																								
Heur	**0_1**	**1_2**	**2_3**	**3_4**	**4_5**	**5_6**	**6_7**	**7_8**	**8_9**	**9_10**	**10_11**	**11_12**	**12_13**	**13_14**	**14_15**	**15_16**	**16_17**	**17_18**	**18_19**	**19_20**	**20_21**	**21_22**	**22_23**	**23_24**
Lampe 23 Watt	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	23	23	23	23
TV 50 watt	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	50	50	50
TV en vieille	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
DVD player 30 watt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	0
receiver 20 watt	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Aspirateur Hoover 650 W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	650	0	0	0	0
Lampe OSRAM 23 Watt	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	23	23	23	23	23
Total sejour	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**119**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**96**	**769**	**119**	**149**	**149**	**119**
CUISIN + Loundry																								
Heur	**0_1**	**1_2**	**2_3**	**3_4**	**4_5**	**5_6**	**6_7**	**7_8**	**8_9**	**9_10**	**10_11**	**11_12**	**12_13**	**13_14**	**14_15**	**15_16**	**16_17**	**17_18**	**18_19**	**19_20**	**20_21**	**21_22**	**22_23**	**23_24**
2 Lampe 23 Watt	0	0	0	0	0	0	46	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46	46	46	46	46	46	46
refrigerateur + Four electrique	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
seche linge 2400-DEUX FOIS SEMMAINE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lave linge 2400W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
lave vaisselle 1200W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Micro onde 1200 w	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	300	0	0	0	0	0
installation pour bibron 150	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0	0	150	0	0
Bouteille eau chaude (100l) avec 2 resistances electriques 1200W chacune	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HOOD (ventilation) 220W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	220	220	0	0	0	0	0
Total CUISIN	**120**	**120**	**120**	**120**	**120**	**120**	**166**	**616**	**120**	**120**	**120**	**120**	**120**	**120**	**120**	**120**	**120**	**836**	**686**	**166**	**166**	**316**	**166**	**166**
Sall à manger																								
Heur	**0_1**	**1_2**	**2_3**	**3_4**	**4_5**	**5_6**	**6_7**	**7_8**	**8_9**	**9_10**	**10_11**	**11_12**	**12_13**	**13_14**	**14_15**	**15_16**	**16_17**	**17_18**	**18_19**	**19_20**	**20_21**	**21_22**	**22_23**	**23_24**
Lampes 23 Watt	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0
Master bedroom																								
Heur	**0_1**	**1_2**	**2_3**	**3_4**	**4_5**	**5_6**	**6_7**	**7_8**	**8_9**	**9_10**	**10_11**	**11_12**	**12_13**	**13_14**	**14_15**	**15_16**	**16_17**	**17_18**	**18_19**	**19_20**	**20_21**	**21_22**	**22_23**	**23_24**
Lampe 23 Watt	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
2 lampe 7 Watt (lampadaire)	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14	50
Unite split 12000Btu-3517W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SECHOIRE 1000 W	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total master bedroom	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**37**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**37**	**37**	**73**
Unite split Week end	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Total master bedroom week end	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**37**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**23**	**37**	**37**	**73**
Bedroom 1																								
Heur	**0_1**	**1_2**	**2_3**	**3_4**	**4_5**	**5_6**	**6_7**	**7_8**	**8_9**	**9_10**	**10_11**	**11_12**	**12_13**	**13_14**	**14_15**	**15_16**	**16_17**	**17_18**	**18_19**	**19_20**	**20_21**	**21_22**	**22_23**	**23_24**
Lampe 23 Watt	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	23	23	0	0
Total bedroom 1	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**23**	**23**	**23**	**0**	**0**
Entrée																								
Heur	**0_1**	**1_2**	**2_3**	**3_4**	**4_5**	**5_6**	**6_7**	**7_8**	**8_9**	**9_10**	**10_11**	**11_12**	**12_13**	**13_14**	**14_15**	**15_16**	**16_17**	**17_18**	**18_19**	**19_20**	**20_21**	**21_22**	**22_23**	**23_24**
5 Lampe 20 Watt	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100
6 Fluorescent 20cm Type TUNGSTRAM 5239 F36W/29-530	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	216	216	216	216	216
Total entrée	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**100**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**316**	**316**	**316**	**316**	**316**
Toilette invités sans fenetre																								
Heur	**0_1**	**1_2**	**2_3**	**3_4**	**4_5**	**5_6**	**6_7**	**7_8**	**8_9**	**9_10**	**10_11**	**11_12**	**12_13**	**13_14**	**14_15**	**15_16**	**16_17**	**17_18**	**18_19**	**19_20**	**20_21**	**21_22**	**22_23**	**23_24**
Lampe 23 Watt	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	23	0	0	23
Ventilateur 150cfm 20W	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	20	20	20	20	20
Total Toilette	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**20**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**20**	**20**	**20**	**20**	**20**	**20**	**20**
Toilette sans fenetre																								
Heur	**0_1**	**1_2**	**2_3**	**3_4**	**4_5**	**5_6**	**6_7**	**7_8**	**8_9**	**9_10**	**10_11**	**11_12**	**12_13**	**13_14**	**14_15**	**15_16**	**16_17**	**17_18**	**18_19**	**19_20**	**20_21**	**21_22**	**22_23**	**23_24**
Lampe 23 Watt	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	23	0	0	23
Ventilateur 150cfm 20W	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	20	20	20	20	20	20
Total Toilette	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**20**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**20**	**20**	**20**	**20**	**20**	**20**	**20**
Toilette et SDB avec fenetre																								
Heur	**0_1**	**1_2**	**2_3**	**3_4**	**4_5**	**5_6**	**6_7**	**7_8**	**8_9**	**9_10**	**10_11**	**11_12**	**12_13**	**13_14**	**14_15**	**15_16**	**16_17**	**17_18**	**18_19**	**19_20**	**20_21**	**21_22**	**22_23**	**23_24**
Lampe 23 Watt	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	23	23	23	0	0	23
SECHOIRE 1000 W	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	0	0	0	0
Total Toilette et SDB	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**323**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**23**	**23**	**323**	**23**	**0**	**0**	**23**

Pour calculer les puissances dissipées annuelles dans l'appartement, nous allons retirer 35 jours de vacances (selon les occupants), et en prenant en considération que l'utilisation du salon dans l'année est occasionnel et il ne dépasse pas 20% des jours des présences des ménages dans l'appartement :

Su cette base, nous trouvons que la puissance dissipée annuelle est 3 717 160 Wh/an, donc sur un mètre carré égal à 28.64 KWh/m^2/an.

Exemple de scénario d'occupation dans les séjours et la cuisine Puissance dissipée pour la cuisine par heur dans une semaine :

Appartement Beirut

Nom: SEJOURS CUISIN

Complément:

Origine: Origine des caractéristiques

Type: % d'occupation

Nombre d'occupants 3.000 Occupants

Nombre d'occupants Occup./m²

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	100	100	100	100	100	100	100
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	100	100	100	100	100	100	100
18 H	100	100	100	100	100	100	100
19 H	100	100	100	100	100	100	100
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	0	0	0	0	0	100	100
24 H							

Appartement Beirut

Nom: CUISIN puissance dissipee

Complément:

Origine: Origine des caractéristiques

Type: Puissance dissipée

Watts

Watts/m²

W	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	120	120	120	120	120	120	120
1 H	120	120	120	120	120	120	120
2 H	120	120	120	120	120	120	120
3 H	120	120	120	120	120	120	120
4 H	120	120	120	120	120	120	120
5 H	120	120	120	120	120	120	120
6 H	166	166	166	166	166	166	166
7 H	616	616	616	616	616	616	616
8 H	120	120	120	120	120	120	120
9 H	120	120	120	120	120	120	120
10 H	120	120	120	120	120	120	120
11 H	120	120	120	120	120	120	120
12 H	120	120	120	120	120	120	120
13 H	120	120	120	120	120	120	120
14 H	120	120	120	120	120	120	120
15 H	120	120	120	120	120	120	120
16 H	120	120	120	120	120	120	120
17 H	836	836	836	836	836	836	836
18 H	686	686	686	686	686	686	686
19 H	166	166	166	166	166	166	166
20 H	166	166	166	166	166	166	166
21 H	316	316	316	316	316	316	316
22 H	166	166	166	166	166	166	166
23 H	166	166	166	166	166	166	166
24 H							

Scénario de ventilation naturelle adopté pour notre appartement de référence et Scénario d'éclairage dans le séjour en Lux :

Appartement Beirut

Nom: LOGEMENT Ventilation ete

Complément:

Origine: Origine des caractéristiques

Type: % de ventilation

Débit nominal 1.00 Vol/h

Débit nominal m³/h

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	100	100	100	100	100	100	100
1 H	100	100	100	100	100	100	100
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	100	100	100	100	100	100	100
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	100	100	100	100	100	100	100
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	100	100	100	100	100	100	100
8 H	100	100	100	100	100	100	100
9 H	100	100	100	100	100	100	100
10 H	100	100	100	100	100	100	100
11 H	100	100	100	100	100	100	100
12 H	100	100	100	100	100	100	100
13 H	100	100	100	100	100	100	100
14 H	100	100	100	100	100	100	100
15 H	100	100	100	100	100	100	100
16 H	100	100	100	100	100	100	100
17 H	100	100	100	100	100	100	100
18 H	100	100	100	100	100	100	100
19 H	100	100	100	100	100	100	100
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100
24 H							

Appartement Beirut

Nom: Eclairage sejours

Complément:

Origine: Origine des caractéristiques

Type: Niveau d'éclairement

Hauteur du plan : 0.900 m

Lux	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	0	0	0	0	0	0	0
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	300	300	300	300	300	300	300
19 H	300	300	300	300	300	300	300
20 H	300	300	300	300	300	300	300
21 H	300	300	300	300	300	300	300
22 H	300	300	300	300	300	300	300
23 H	300	300	300	300	300	300	300
24 H							

Scénario de besoin d'ECS et le scénario de température de consigne réel dans la chambre Master bed-Rom :

Appartement Beirut

Nom: ECS

Complément:

Origine: Origine des caractéristiques

Type: Besoins d'ECS

Température d'eau chaude: 60.000 °C

I	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	20	20	20	20	20	0	0
8 H	10	10	10	10	10	5	5
9 H	5	5	5	5	5	20	20
10 H	5	5	5	5	5	10	10
11 H	0	0	0	0	0	5	5
12 H	0	0	0	0	0	5	5
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	5	5	5	5	5	0	0
17 H	30	30	30	30	30	30	30
18 H	5	5	5	5	5	5	5
19 H	5	5	5	5	5	5	5
20 H	30	30	30	30	30	30	30
21 H	30	30	30	30	30	30	30
22 H	5	5	5	5	5	10	10
23 H	0	0	0	0	0	0	0
24 H							

Classe

Appartement Beirut

Nom: Chambre temperature ete Master bed room reel

Complément:

Origine: Origine des caractéristiques

Type: Consigne de température

°C	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	27	27	27	27	27	100	100
1 H	27	27	27	27	27	100	100
2 H	27	27	27	27	27	100	27
3 H	27	27	27	27	27	100	27
4 H	27	27	27	27	27	100	27
5 H	27	27	27	27	27	100	27
6 H	27	27	27	27	27	100	27
7 H	100	100	100	100	100	100	100
8 H	100	100	100	100	100	100	100
9 H	100	100	100	100	100	100	100
10 H	100	100	100	100	100	100	100
11 H	100	100	100	100	100	100	100
12 H	100	100	100	100	100	100	100
13 H	100	100	100	100	100	27	100
14 H	100	100	100	100	100	100	100
15 H	100	100	100	100	100	100	100
16 H	100	27	100	100	100	27	100
17 H	100	100	100	100	100	100	100
18 H	100	100	100	100	27	100	100
19 H	27	100	27	100	27	27	27
20 H	27	100	27	100	27	27	100
21 H	27	100	27	100	27	27	100
22 H	27	100	27	27	100	27	27
23 H	27	27	27	27	100	27	27
24 H							

Exemple des caractéristiques des parois et le plancher

Caractéristiques de la composition

Classe

Appartement BEIRUT ▸ Plancher

Nom: Plancher bas T

Complément:

Origine: Origine des caractéristiques

Caractéristiques thermiques | Données RT | Données méthode RTS

Composants	T	cm	kg/m²	λ	R
Carrelage		3.0	69	1.700	0.02
Mortier		2.0	40	1.150	0.02
Sable et gravier		5.0	98	2.000	0.03
Hourdis de 25 en béton		25.0	325	1.389	0.18
Mortier		1.0	20	1.150	0.01
Total		36.0	552		0.26

Extérieur

Intérieur

Caractéristiques de la composition

Classe

Appartement BEIRUT ▸ Mur

Nom: Les murs exterieurs adjacents aux immeubles TYPE 2

Complément: INT ---- EXT
peinture Blanche
1cm Platre

Origine: Origine des caractéristiques

Caractéristiques thermiques | Données RT | Données méthode RTS

Composants	T	cm	kg/m²	λ	R
Parpaing de 10		10.0	130	1.111	0.09
Enduit plâtre		1.0	15	0.350	0.03
Total		11.0	145		0.12

Extérieur

Intérieur

Exemple des ponts thermiques dans les éléments structurels (parois, plancher, mur renford,et.):

Parois | Ponts thermiques | Menuiseries | Environnement | Scénarios | Générations

Ponts thermiques menuiseries | Ponts thermiques intégrés | Ponts thermiques linéiques

Liste des ponts thermiques linéiques

Filtre: Texte à rechercher

- Appartement Beirut
  - 2.2 Pl. intermédiaire avec balcon
  - b.1 - Pl. intermédiaire avec balcon RT 2012
  - b.1 - Pl. intermédiaire RT2012
  - d.2 - Mur / refend RT2012
  - LIBAIN d.2 - Mur / refend
  - LIBAIN a.1 - Pl. bas sur VS ou LNC/ mur extérieur
  - LIBAIN a.3 - Pl. bas sur VS ou LNC/ refend traversant
  - LIBAIN b.1 - Pl. intermédiaire
  - LIBAIN c.1 - Pl haut / mur extérieur
  - LIBAIN d.1 - Angle sortant
  - LIBAN ITI - Mur / refend maçonnerie courante

Caractéristiques du pont thermique linéique

Classe

Appartement Beirut

Nom: LIBAIN d.2 - Mur / refend

Complément:

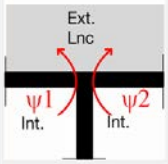
Origine: CSTB

Valeurs | Données RT

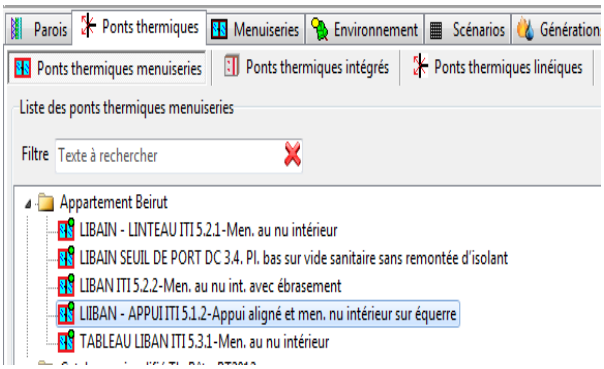
Murs: A- Maçonnerie isolée par l'intérieur

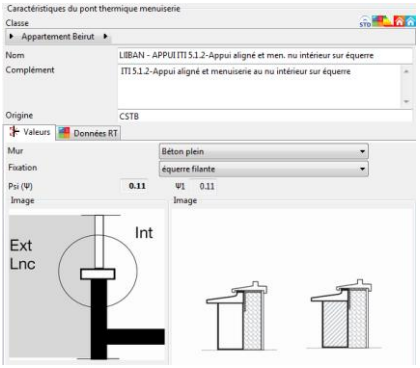
Psi (Ψ): 0.41 Ψ1 0.2 Ψ2 0.2

Image

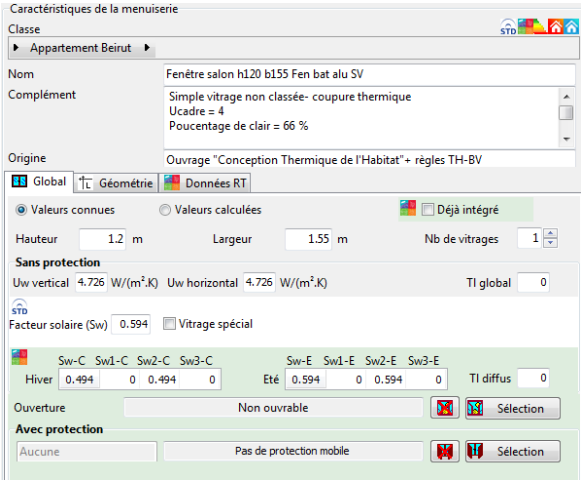


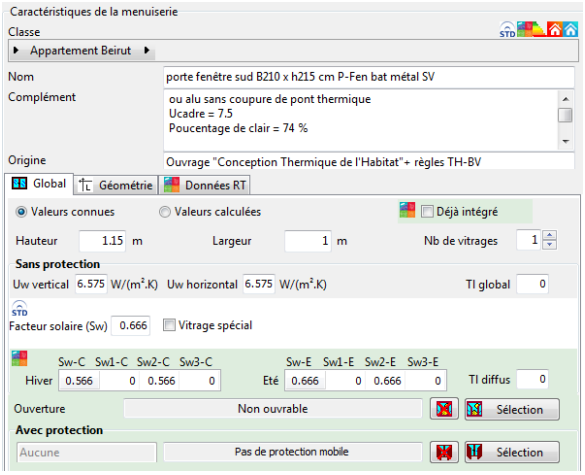
Exemple des ponts thermiques dans les menuiseries (porte, fenêtre) :



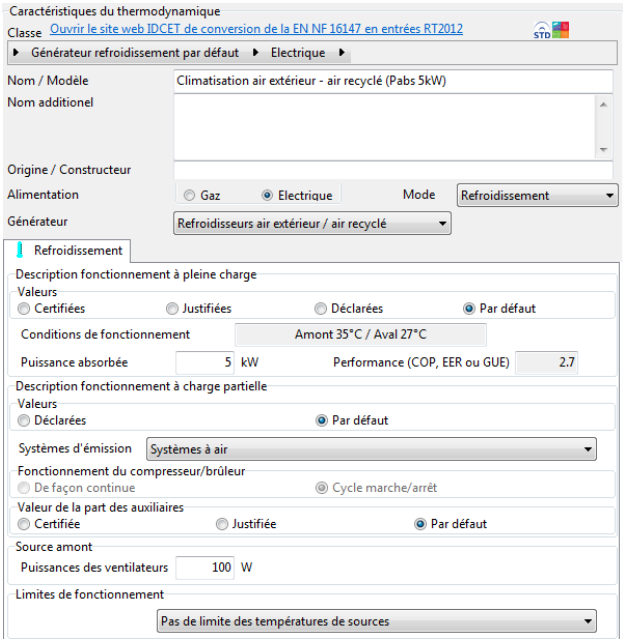


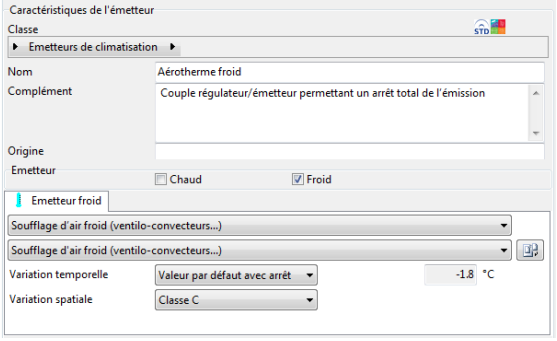
Exemple des caractéristiques d'une paroi et le plancher



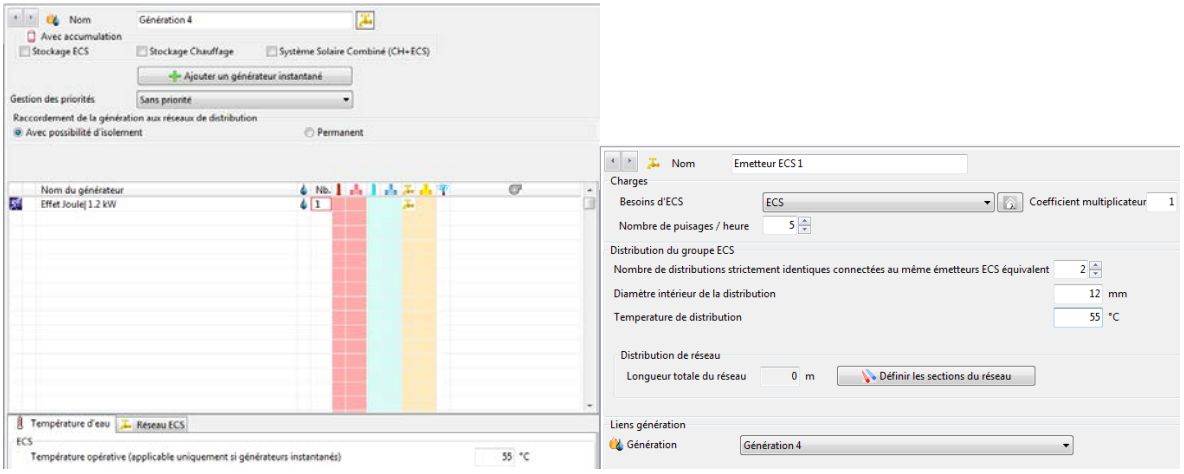


Caractéristiques de split et son ventilateur :





Caractéristiques de générateur ECS et son émetteur :



– Annexe 4 (Les saisies des données pour l'appartement de référence à Tartous)

Les données météo Tartous (Meteonorm)

Tartous
Location name

34.883
Latitude [°N]

35.883
Longitude [°E]

400500
WMO

5
Altitude [m a.s.l.]

IV, 1
Climate region

Standard
Radiation model

Standard
Temperature model

Perez
Tilt radiation model

2000–2009
Temperature period

1986–2005
Radiation period

Additional information

Uncertainty of yearly values: Gh = 4%, Bn = 7%, Ta = 0.3 °C
Trend of Gh / decade: -
Variability of Gh / year: 4.0%
Radiation interpolation locations: Satellite data
Temperature interpolation locations: Tripoli (49 km), BASEL ASSAD INTL AR (58 km), Latakia (73 km), SAFITA (24 km), Hama (81 km), Bayrouth (124 km)

Month	Ta	H_Gh	H_Dh	H_Bn	Sd	Rh	FF
	[C]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[h]	[%]	[m/s]
January	11.8	71	35	83	137	67.9	2.7
February	12.7	87	44	86	150	68.5	3.0
March	15.1	141	63	131	202	68.1	2.9
April	17.7	157	76	123	230	69.5	3.0
May	20.8	208	81	183	303	71.0	2.7
June	24.4	220	80	197	329	71.4	2.7
July	26.9	216	79	194	336	72.9	2.9
August	27.6	199	69	191	323	72.2	2.8
September	25.9	165	62	160	292	66.5	2.6
October	22.7	132	51	149	250	64.6	2.2
November	17.4	93	33	130	193	63.7	2.4
December	13.3	73	33	100	151	67.7	2.6
Year	19.7	1757	703	1727	2896	68.7	2.7

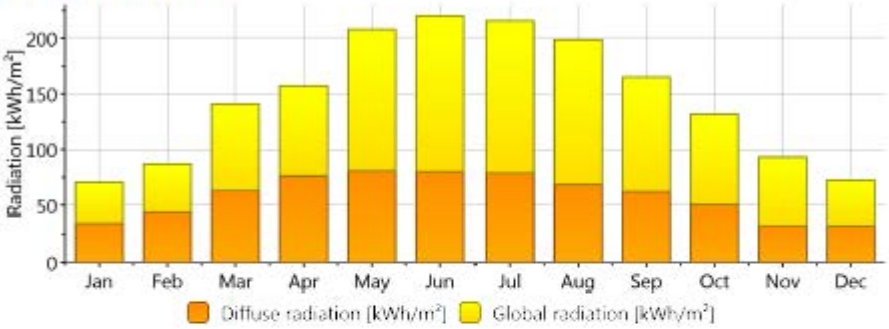
H_Gh: Irradiation of global radiation horizontal
H_Dh: Irradiation of diffuse radiation horizontal
H_Bn: Irradiation of beam
Ta: Air temperature
FF: Wind speed
Rh: Air temperature
SD: Sunshine duration

meteonorm

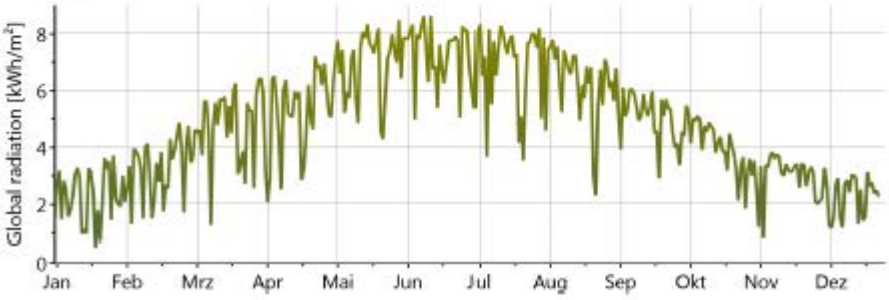
meteonorm V7.0.20.27327

1/3

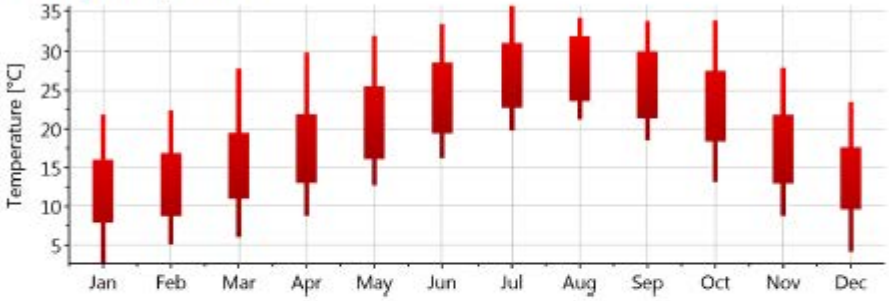
Monthly radiation



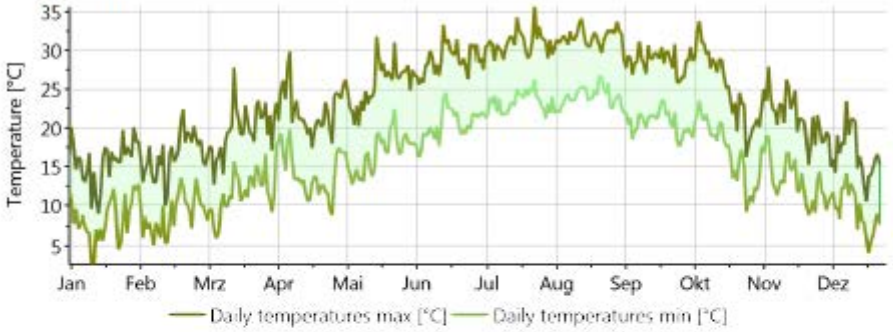
Daily global radiation



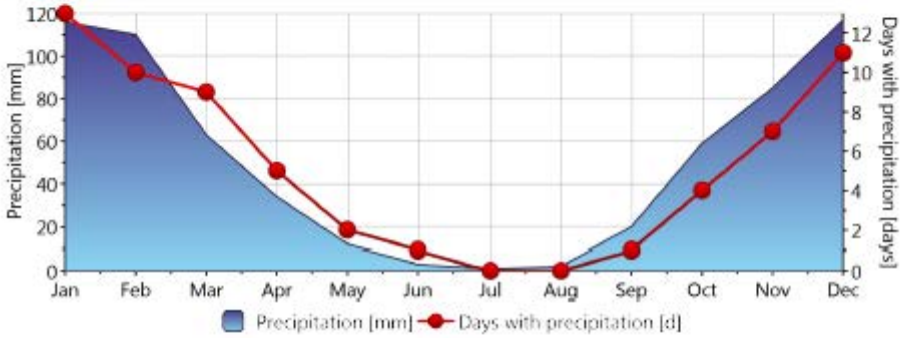
Monthly temperature



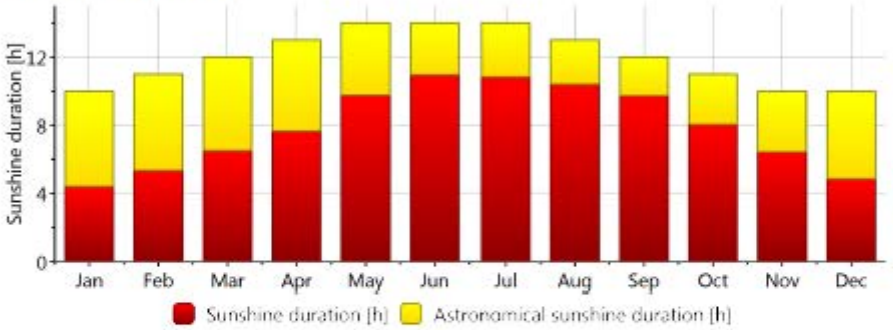
Daily temperature



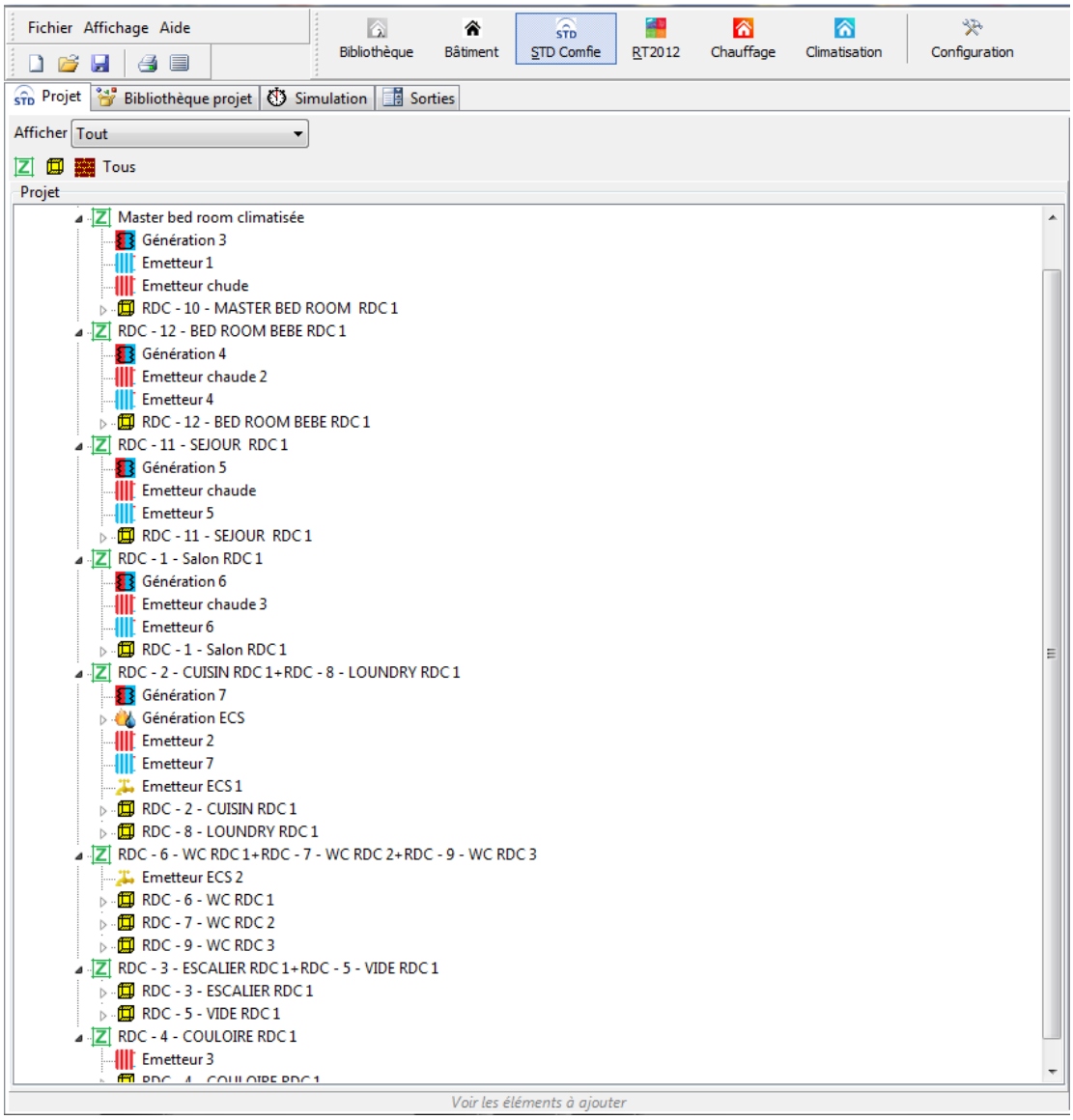
Precipitation



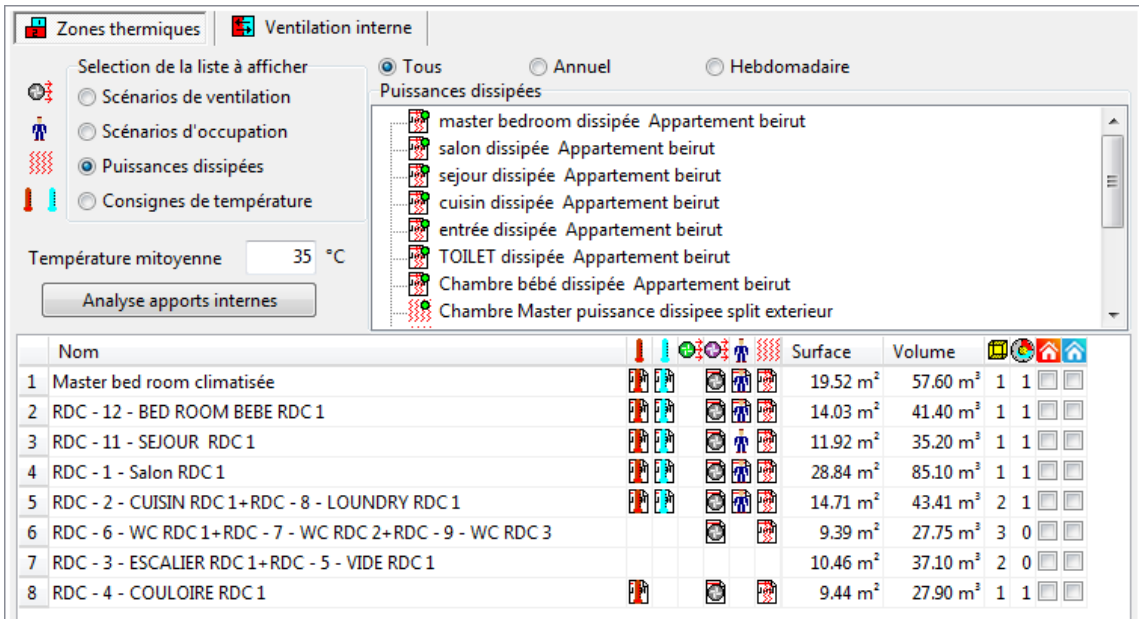
Sunshine duration



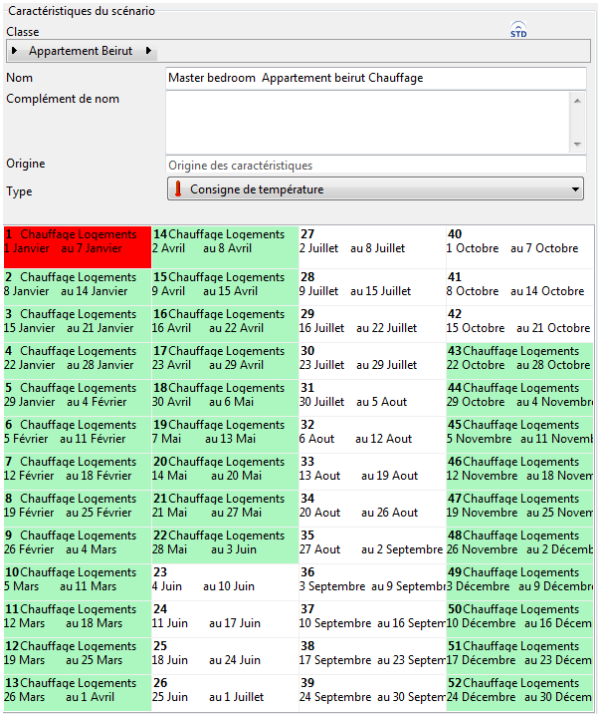
Structure de l'appartement :

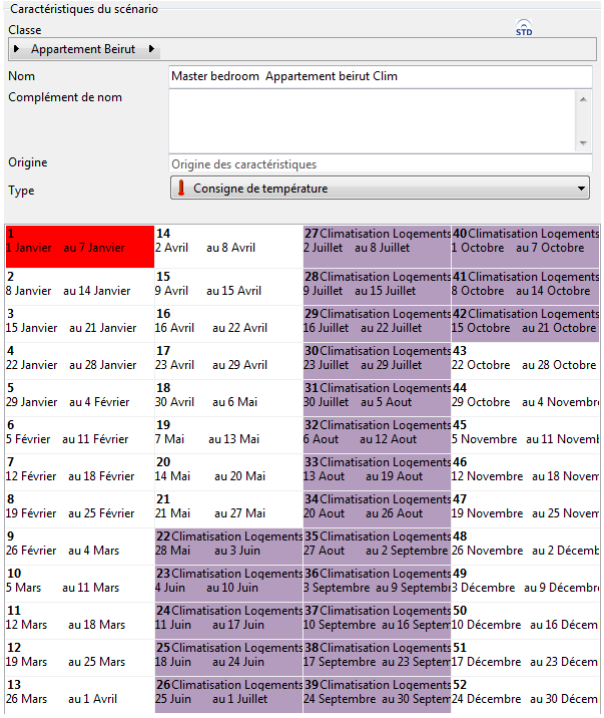


Les scénarios d'usages

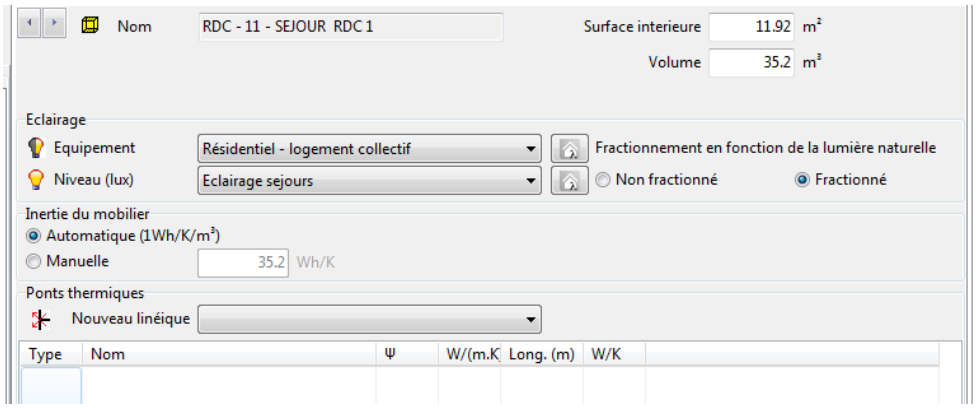


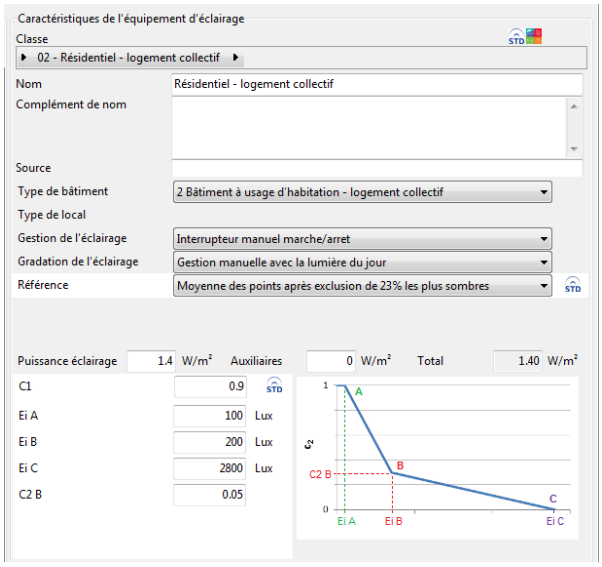
Les scénarios annuels de chauffage et clim :





Scénario d'éclairage conventionnel





Scénario d'ECS

Nom: ECS logements T4 Besoins ECS H49 Tartous

Complément:

Origine: Origine des caractéristiques

Type: Besoins d'ECS

Température d'eau chaude: 50.000 °C

I	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	1	1	1	1	1	0	0
6 H	9	8	8	8	8	1	1
7 H	18	16	17	16	16	5	5
8 H	10	10	10	10	10	12	13
9 H	8	7	8	7	7	17	19
10 H	7	6	6	6	6	20	22
11 H	5	4	5	4	4	16	17
12 H	6	5	6	5	5	11	12
13 H	8	7	7	7	7	11	12
14 H	4	4	4	4	4	11	12
15 H	3	2	3	2	2	7	7
16 H	3	3	3	3	3	5	5
17 H	5	4	4	4	4	5	6
18 H	9	8	8	8	8	9	10
19 H	10	9	10	9	9	10	11
20 H	12	11	11	11	11	9	10
21 H	12	12	12	12	12	4	5
22 H	10	10	10	10	10	3	4
23 H	7	7	7	7	7	2	2
24 H							

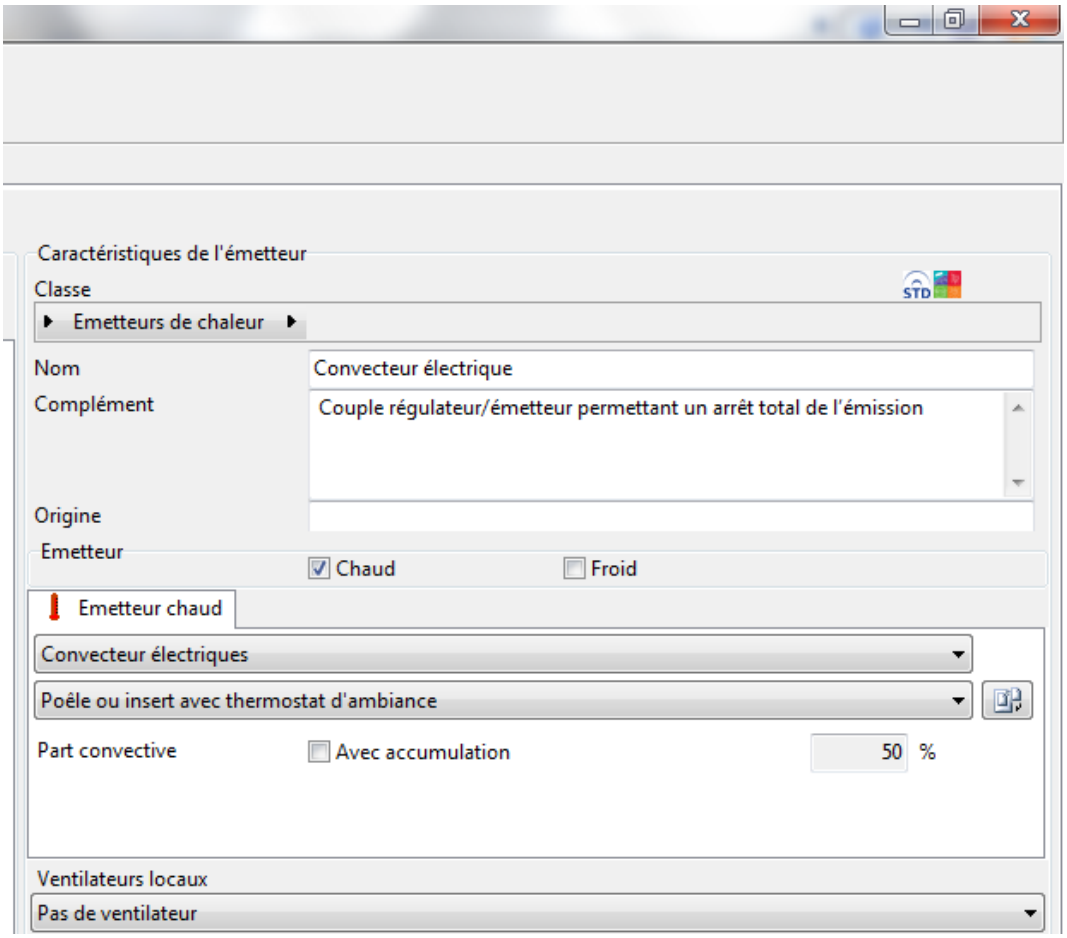
Générateur de froid (split)

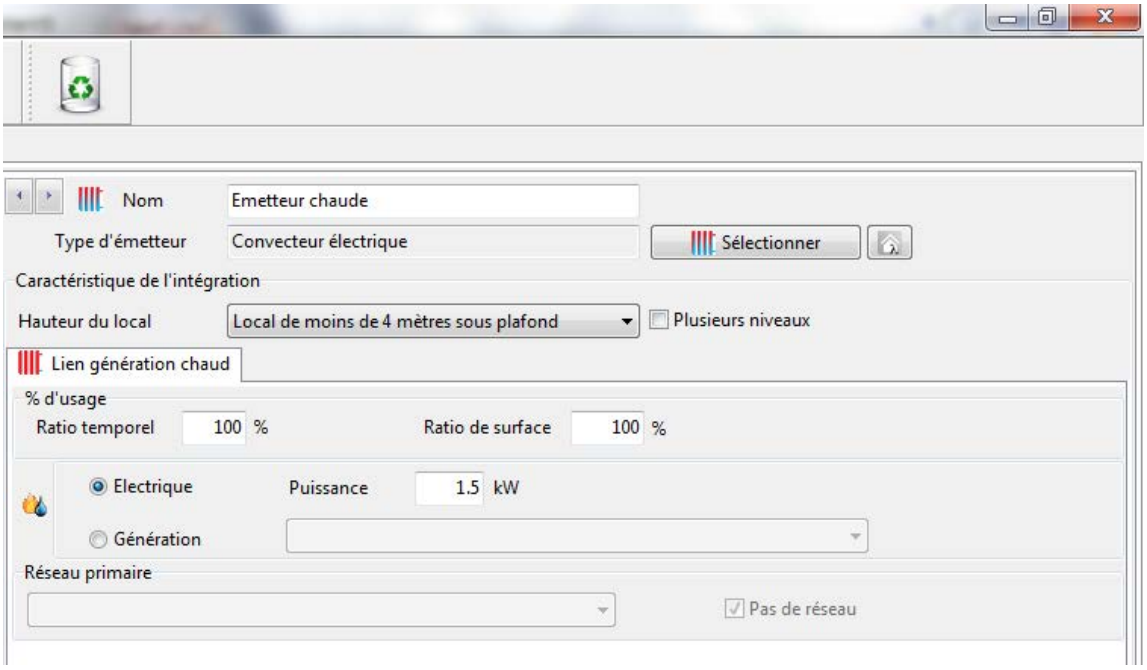
Caractéristiques du thermodynamique
Classe Ouvrir le site web IDCET de conversion de la EN NF 16147 en entrées RT2012
Générateur refroidissement par défaut ▸ Electrique ▸
Nom / Modèle Climatisation air extérieur - air recyclé (Pabs 5kW)
Nom additionel
Origine / Constructeur
Alimentation Gaz Electrique Mode Refroidissement
Générateur Refroidisseurs air extérieur / air recyclé
Refroidissement
Description fonctionnement à pleine charge
Valeurs
Certifiées Justifiées Déclarées Par défaut
Conditions de fonctionnement Amont 35°C / Aval 27°C
Puissance absorbée 5 kW Performance (COP, EER ou GUE) 2.7
Description fonctionnement à charge partielle
Valeurs
Déclarées Par défaut
Systèmes d'émission Systèmes à air
Fonctionnement du compresseur/brûleur
De façon continue Cycle marche/arrêt
Valeur de la part des auxiliaires
Certifiée Justifiée Par défaut
Source amont
Puissances des ventilateurs 100 W
Limites de fonctionnement
Pas de limite des températures de sources

Emetteur de froid

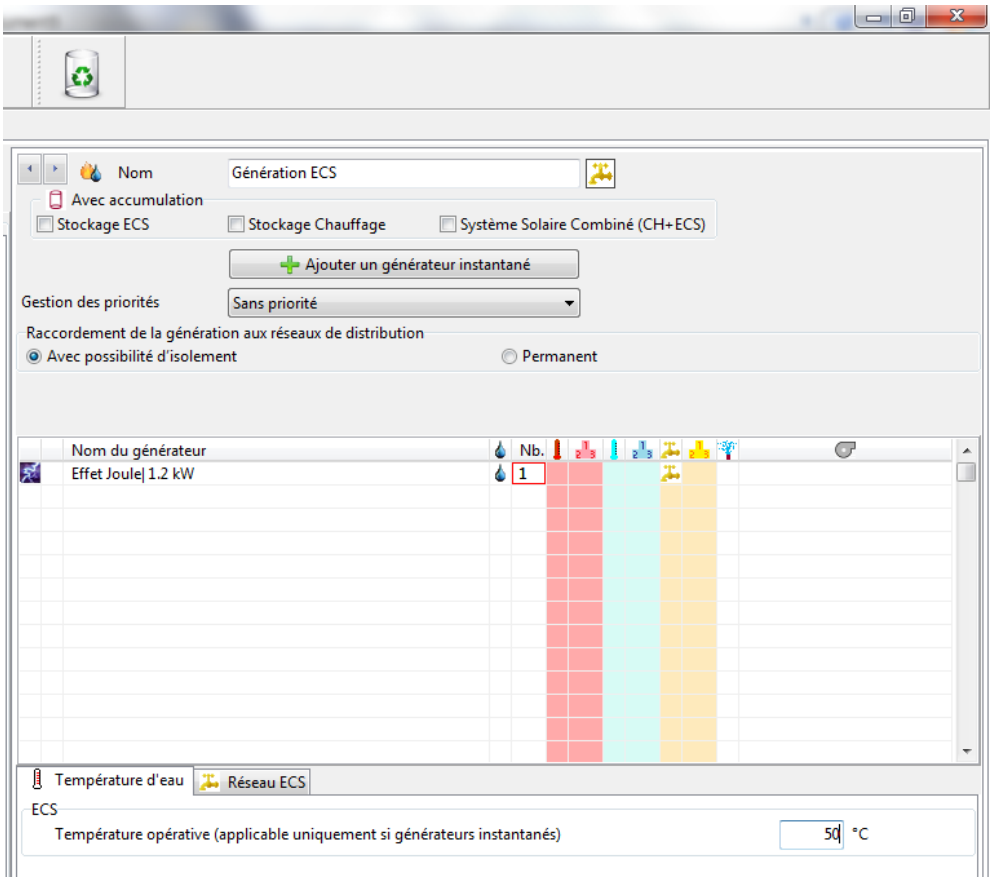
Nom Emetteur 1
Type d'émetteur Aérotherme froid Sélectionner
Caractéristique de l'intégration
Hauteur du local Local de moins de 4 mètres sous plafond
Lien génération froid
% d'usage
Ratio temporel 100 % Ratio de surface 100 %
Génération Génération 3
Réseau primaire
Pas de réseau

Emetteur de chaude (radiateur électrique)

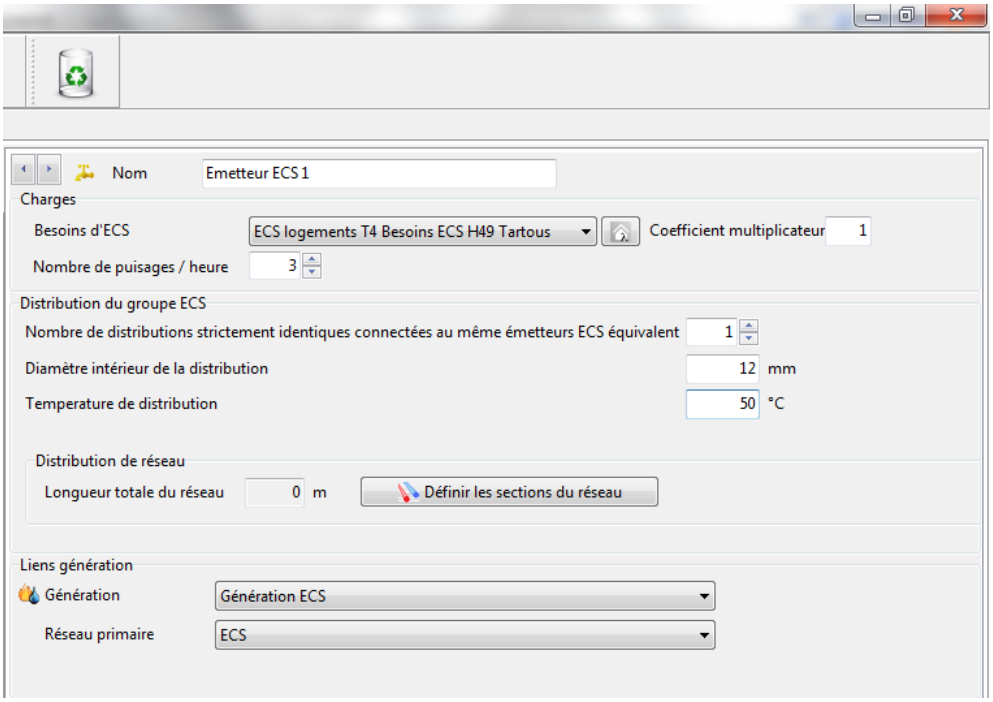




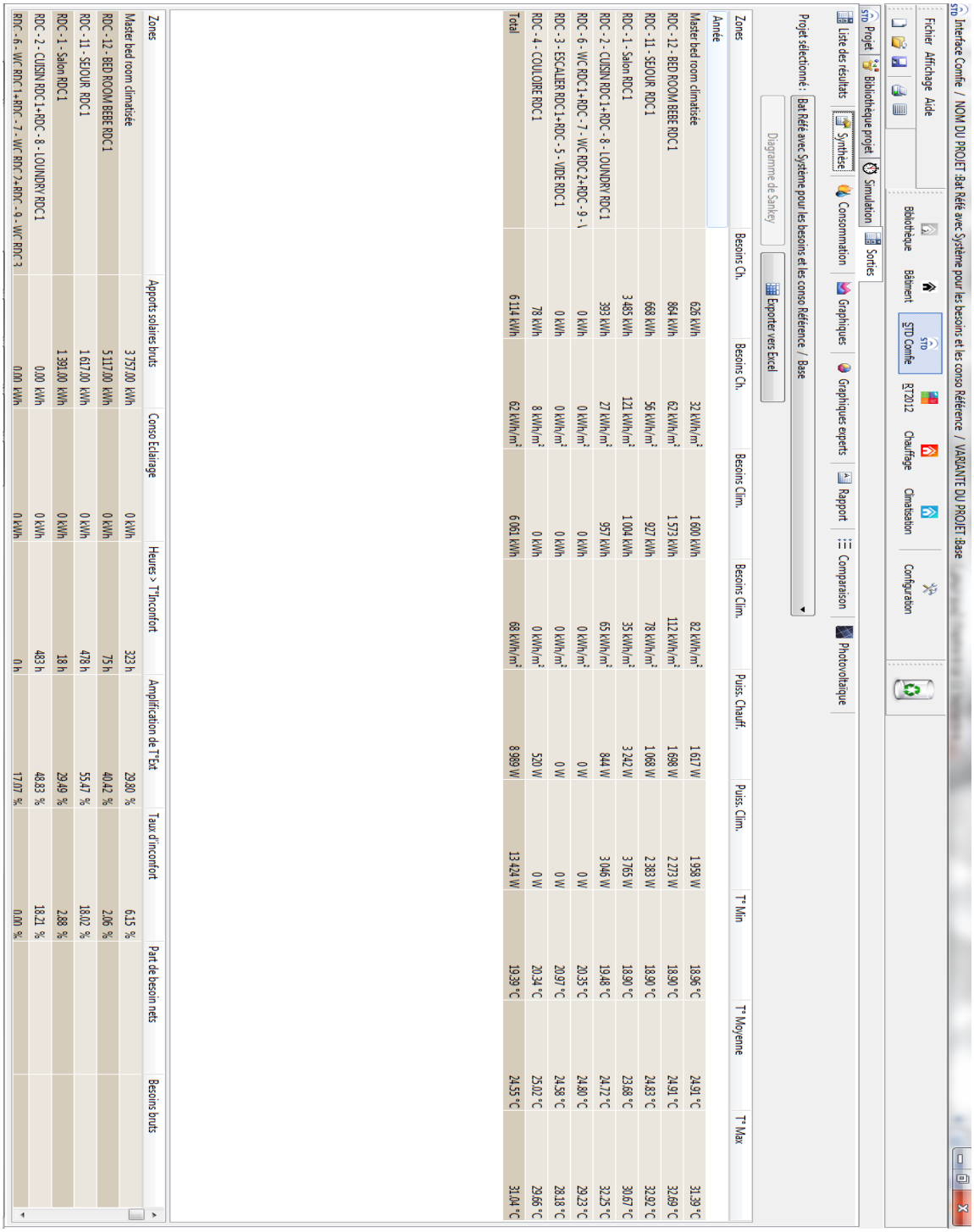
Générateur ECS (résistance électrique)



Caractéristique d'émetteur ECS :

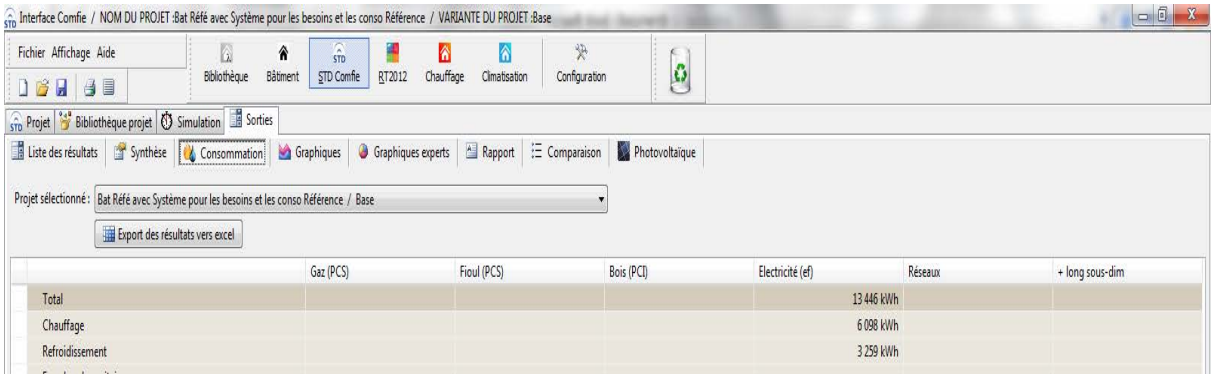


Résultat Bbio, Cep de l'appartement de référence



Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année								
Master bed room climatisée	626 kWh	32 kWh/m²	1 600 kWh	82 kWh/m²	1 617 W	1 958 W	18,96 °C	24,91 °C	31,39 °C
RDC - 12 - BED ROOM BEBE RDC 1	864 kWh	62 kWh/m²	1 573 kWh	112 kWh/m²	1 698 W	2 273 W	18,90 °C	24,91 °C	32,69 °C
RDC - 11 - SEJOUR RDC 1	668 kWh	56 kWh/m²	927 kWh	78 kWh/m²	1 068 W	2 383 W	18,90 °C	24,83 °C	32,92 °C
RDC - 1 - Salon RDC 1	3 485 kWh	121 kWh/m²	1 004 kWh	35 kWh/m²	3 242 W	3 765 W	18,90 °C	23,68 °C	30,67 °C
RDC - 2 - CUISIN RDC1+RDC - 8 - LOUNDRY RDC 1	393 kWh	27 kWh/m²	957 kWh	65 kWh/m²	844 W	3 046 W	19,48 °C	24,72 °C	32,25 °C
RDC - 6 - WC RDC1+RDC - 7 - WC RDC 2+RDC - 9 - \	0 kWh	0 kWh/m²	0 kWh	0 kWh/m²	0 W	0 W	20,35 °C	24,80 °C	29,23 °C
RDC - 3 - ESCALIER RDC1+RDC - 5 - VIDE RDC 1	0 kWh	0 kWh/m²	0 kWh	0 kWh/m²	0 W	0 W	20,97 °C	24,58 °C	28,18 °C
RDC - 4 - COULOIRE RDC 1	78 kWh	8 kWh/m²	0 kWh	0 kWh/m²	520 W	0 W	20,34 °C	25,02 °C	29,66 °C
Total	6 114 kWh	62 kWh/m²	6 061 kWh	68 kWh/m²	8 989 W	13 424 W	19,39 °C	24,55 °C	31,04 °C

Zones	Apports solaires bruts	Conso Eclairage	Heures > T°Incomfort	Amplification de T°Ext	Taux d'incomfort	Part de besoin nets	Besoins bruts
Master bed room climatisée	3 757,00 kWh	0 kWh	323 h	29,80 %	6,15 %		
RDC - 12 - BED ROOM BEBE RDC 1	5 117,00 kWh	0 kWh	75 h	40,42 %	2,06 %		
RDC - 11 - SEJOUR RDC 1	1 617,00 kWh	0 kWh	478 h	55,47 %	18,02 %		
RDC - 1 - Salon RDC 1	1 391,00 kWh	0 kWh	18 h	29,49 %	2,88 %		
RDC - 2 - CUISIN RDC1+RDC - 8 - LOUNDRY RDC 1	0,00 kWh	0 kWh	483 h	48,83 %	18,21 %		
RDC - 6 - WC RDC1+RDC - 7 - WC RDC 2+RDC - 9 - WC RDC 3	0,00 kWh	0 kWh	0 h	17,07 %	0,00 %		

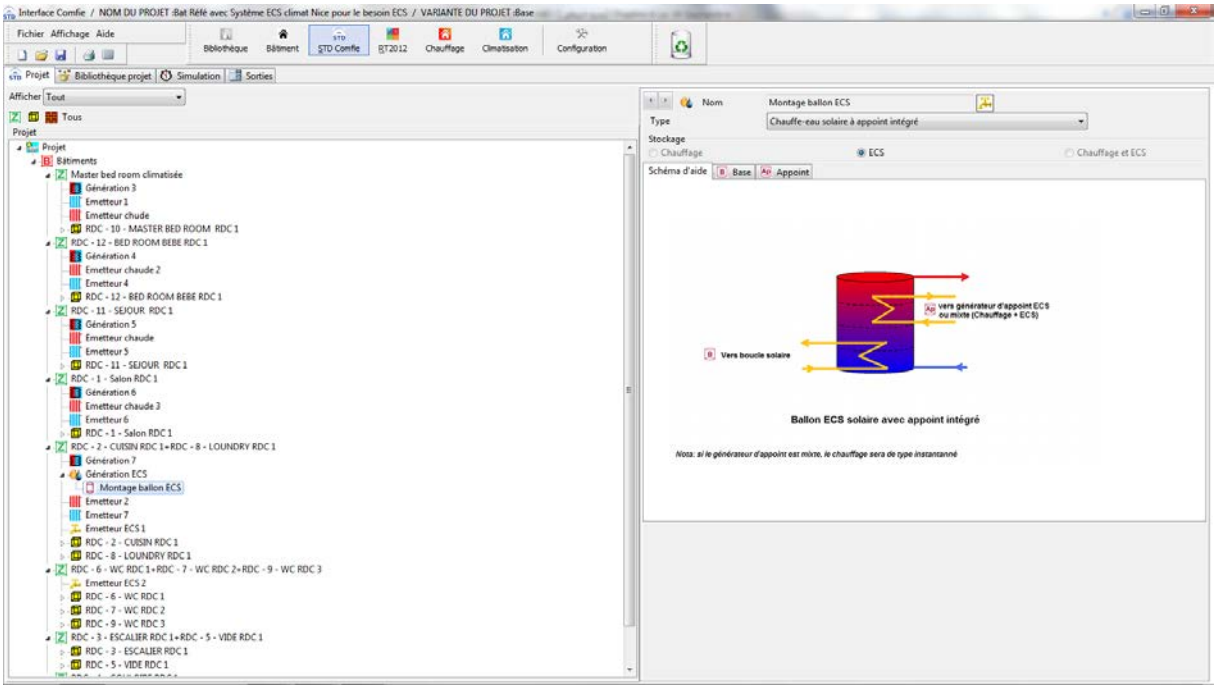


Donc : $C_{ef\text{-}\ ch}$ = 6098 kWh, $C_{ef\text{-}\ clim}$ = 3259 kWh, $C_{ef\text{-}\ écl}$ = 2.67 kWh/m^2, $C_{ef\text{-}\ ECS}$ = 25.5 kWh/m^2

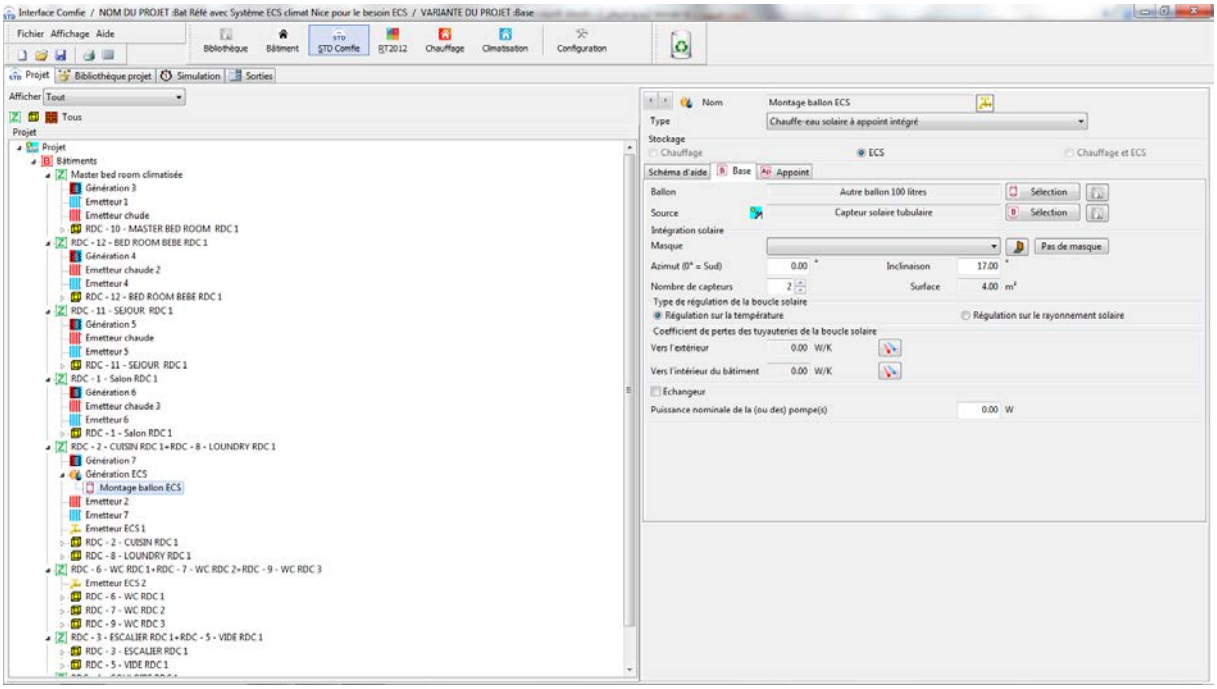
$C_{ef\text{-}\ ch}$ = 6098 kWh / 129.81 = 47 kWh/m^2 , $C_{ef\text{-}\ clim}$ = 3259 kWh / 129.81 = 25.1 kWh/m^2 avec (SHON = 129.81m^2)

ECS solaire avec appoint intégré

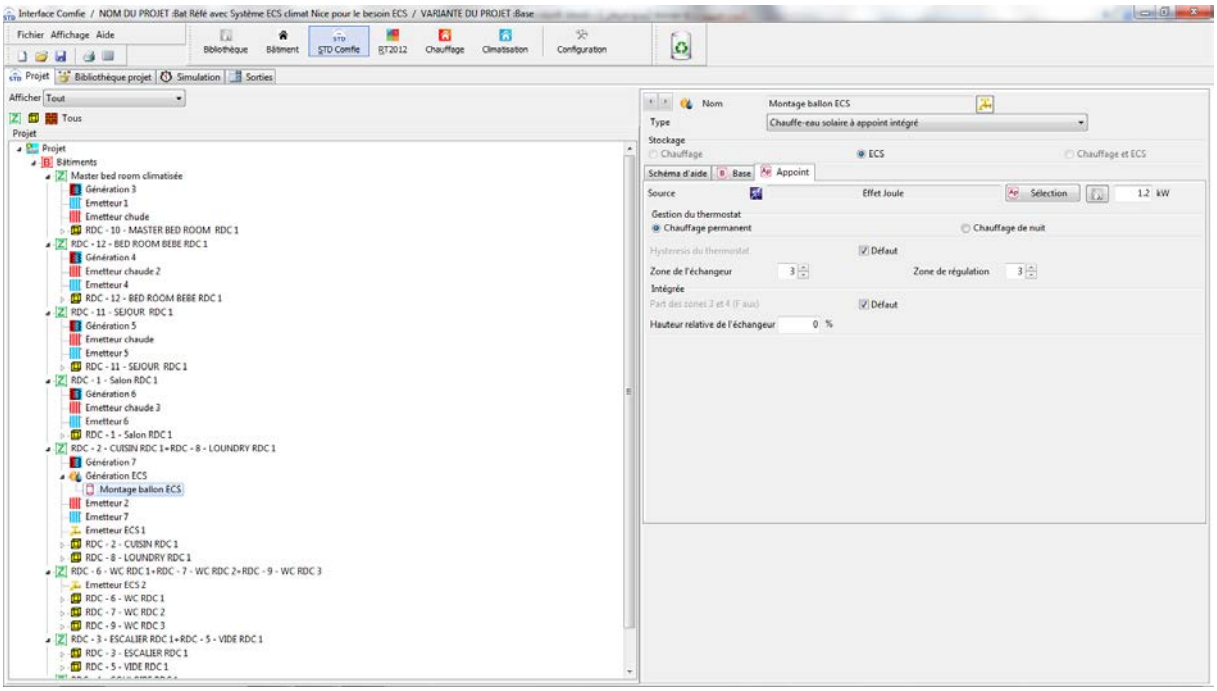
Le ballon



Le capteur solaire



A point intégré



Mothanna SALAMA

Développement d'un label énergétique appliqué aux bâtiments résidentiels de la région Est-Méditerranée (Syrie, Liban)

Résumé

Dans les pays importateurs d'énergie de la région Est-Méditerranée, comme la Syrie et le Liban, le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie. Une extension urbaine dynamique et une croissance démographique importante sont les caractéristiques des villes côtières de cette région, avec une absence totale d'application de règlements thermiques ou énergétiques pour les constructions. L'objectif de ce travail est de mettre en place une certification énergétique pour les bâtiments résidentiels neufs dans la région côtière de l'Est-Méditerranée. Pour atteindre cet objectif, nous avons réalisé une série d'enquêtes sur le terrain pour mettre en évidence les problématiques énergétiques des bâtiments résidentiels dans la ville de Tartous, et établir une base de données servant de référentiel sur les modes de construction, les systèmes énergétiques accessibles et les usages des occupants. Le choix de la RT2012 est le résultat d'une analyse critique et comparative des six labels les plus répandus dans le monde, en vue d'une extension à la région Est-Méditerranée. L'originalité de notre travail est d'aborder la réalité du terrain en adoptant un outil de STD et en nous appuyant sur les spécificités de fonctionnement et d'usage du bâtiment et ses équipements de chauffage, de climatisation, d'eau chaude sanitaire et d'électroménager. Les limites d'amélioration de la performance énergétique, due à l'utilisation des solutions techniques accessibles sur le site, avec un valorisation globale des points de vue énergétique, économique et de confort, nous permettront de déterminer les nouvelles valeurs des indices réglementaires caractérisant notre nouveau label énergétique RT2012-EM. Ce label énergétique, destiné aux différents acteurs du bâtiment pour la conception de bâtiments résidentiels neufs, vise à promouvoir une politique d'utilisation rationnelle de l'énergie, grâce à des bâtiments à basse consommation énergétique.

Development of an energy label applied to residential buildings of the East Mediterranean region (Syria, Lebanon)

Résumé en anglais

In the countries which importing energy in the region of the East-Mediterranean, such as Syria and Lebanon, the building sector is the largest consumer of energy . A dynamic urban expansion and population growth are important characteristics of the coastal towns of this region, with a total lack of application of heat or energy regulations for buildings. The objective of this work is to develop an energy certification for new residential buildings in the coastal region of East Mediterranean. To achieve this goal, we conducted a series of field surveys to highlight energy issues of residential buildings in the city of Tartous, and establish a database for the repository construction methods, energy systems access and usage of the occupants. The choice of the RT2012 is the result of a critical and comparative analysis of the six most popular labels in the world, for an extension to the East Mediterranean region. The originality of our work is to address the reality of the field by adopting a tool of a dynamic thermal simulation and relying on the specific operation and use of the building and equipment of heating, cooling, hot water and appliances. The limits of improving energy performance, due to the use of available technical solutions on site, with a total valuation of viewpoints energy, economic and comfort, will let us determine the new values of the regulatory indices of our new RT2012-EM energy label. The energy label for the different actors of the building to the design of new residential buildings, designed to promote a policy of rational use of energy, through buildings with low energy consumption.